



TITLE:

不確実性下の土木計画代替案の総合評価と意思決定に関する研究(Dissertation_全文)

AUTHOR(S):

若井, 郁次郎

CITATION:

若井, 郁次郎. 不確実性下の土木計画代替案の総合評価と意思決定に関する研究. 京都大学, 1986, 工学博士

ISSUE DATE:

1986-01-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.r5801>

RIGHT:

不確実性下の土木計画代替案の
総合評価と意思決定に関する研究

昭和60年8月

若 井 郁 次 郎

不確実性下の土木計画代替案の 総合評価と意思決定に関する研究

昭和 60 年 8 月

若 井 郁 次 郎

目 次

第 1 章	序 論	1
1-1	研究の目的	1
1-2	研究の概要	2
第 2 章	不確実性下の代替案評価問題	5
2-1	概 説	5
2-2	評価問題における不確実性の分類	5
2-3	従来の評価問題における不確実性の取り扱い	11
2-4	意思決定理論からみた不確実性下の代替案の総合評価	15
2-5	本研究で着目した不確実性下の代替案の総合評価と意思決定の考え方	20
2-6	結 語	23
第 3 章	単数の意思決定者による不確実性下の代替案の総合評価	27
3-1	概 説	27
3-2	福祉効果を考慮した土木施設計画の総合評価	27
3-3	重み順位法による代替案の総合評価	49
3-4	結 語	63
第 4 章	複数の評価者の存在を考慮した場合の不確実性下の代替案の総合評価 — 代替案が明示できない場合 —	67
4-1	概 説	67
4-2	代替案総合評価の問題認識と零和 2 人ゲーム理論の適用	67
4-3	LFW 法による問題の定式化	71
4-4	適用例と考察	78
4-5	結 語	86
第 5 章	複数の評価者の存在を考慮した場合の不確実性下の代替案の総合評価 — 代替案が明示できる場合 —	91
5-1	概 説	91

5-2	代替案総合評価の問題認識と非零和 n 人ゲーム理論の適用	91
5-3	協力 n 人ゲームを適用した代替案選定と補償による合意形成(JMPR法)	99
5-4	適用例と考察	102
5-5	結 語	108
第 6 章	代替案の総合評価の不確実性と分権的達成による調整法	113
6-1	概 説	113
6-2	分権的達成による調整法	113
6-3	交通施設プロジェクト周辺地域整備計画への適用と考察	116
6-4	結 語	139
第 7 章	結 論	143
謝 辞	.....	147

第 1 章 序 論

1-1 研究の目的

人間活動の目指す究極的な目的は、人間の幸福を得ることにある。この目的達成のため、生活・生産基盤を社会が公共の事業としてつくる必要がある。これが土木事業といわれるものである。したがって、土木計画は、こうした事業、すなわち公共の福祉の向上を目的とするものといえる。人間社会が存続する限り、土木計画に課せられた永遠のテーマでもある。

土木計画は、一般にパレート解というその目的を達成する手段、すなわち、代替案を複数個選ぶことができ、そのなかから選択される。また計画主体のほかに、この計画によって影響を受ける複数の評価者が存在するのが通例である。

規模が小さい、あるいは単純な構造をもつ社会においては、土木計画の評価を行う場合、計画主体は、その社会の単一目的型問題として取り扱えば十分であり、しかも社会に共通な少数の評価尺度でもって、その代替案の選択を行えば十分であったといえよう。しかしながら、欧米諸国やわが国のように高度に発展した国では、複雑な社会構造が形成されていると同時に人々の価値観の多様化が進み、評価者が、複数存在する。さらに、社会のあらゆる構成要素は相互関連性が高いうえに、その変化もこれまでのように確定的ではない。

このような状況下におかれる土木計画の評価問題の取り扱い方も内容の転換が迫られている。さらに、単一の構成員といえども多くの側面から総合的に評価している。これを、計画論では多属性問題といている。すなわち、計画論の観点から土木計画の評価は、複数の社会構成員、つまり評価者の多く存在する多目的型問題と多属性問題として取り扱うことが必要となっている。さらに、代替案選択に至るまでには、目的、属性の選び方、それらの重みづけなどを含めて、多くの不確実性が混入し、これらを考慮することが必要となる。

以上のように土木計画は、多目的、多属性問題として評価する、いわゆる総合評価問題として考え直すこと、および不確実性問題を処理して総合評価問題と関連づけることが要請されている。さらに、総合評価された土木計画の代替案のなかからどの案を選択して行動の基準とするかといった意思決定の基本的な考え方の樹立、および不確実性下で選択された代替案の実施に伴い、利益と不利益を受ける構成員同志の分権的達成の調整が要請されている。

本研究は、以上の課題を考察するために、土木施設計画や交通施設計画を対象としながら、今日の土木計画の総合評価問題と意思決定の問題の解明を行うことを目的としている。

ここで、代替案の総合評価問題に不確実性を考慮した詳細な理由は、以下のとおりである。

1) 評価者が、単数の場合と複数の場合とがあるが、特に複数の場合、評価行動が相手の存在によって不確実になる。

2) 評価項目は抽出時に、評価に必要なものが、すべて揃うとは限らない。そのために、評価項目の列挙に不確実性が存在する。

3) 評価項目が必要最少個並べられても、評価指標値や評価値は、測定方法や評価者によって不確実性が混入する。場合によって定量的な指標値が物理的に計測されえないこともある。この場合、主観による不確実な評価値を用いねばならない。

4) 代替案に対する総合評価値を算出する場合、評価項目に対して重みが考慮されるが、この重みを客観的に求めることが困難な理由で主観的にならざるを得ず、そのために不確実性をもつこともある。

5) 有限個の代替案が列挙された場合、一つの最良な代替案を選択する過程において、意思決定者は選択に迷うことがある。すなわち、意思決定過程における不確実性が存在する。

以上のような観点から本研究を進めるが、研究の構成として意思決定過程における特異点に着目して総合評価問題を大きく分類した。すなわち、代替案が明示できない場合と明示できる場合とである。前者は、各評価者に対して評価指標値に対する情報を計画主体に提供してもらうが、最終的な意思決定は計画主体が行う場合である。後者は、複数の評価者に対して計画主体がすべての代替案を提示して各評価者が協力し合って、その社会において最良な代替案を選択する場合である。

このように評価問題を考えることにより、従来の方法と異なった代替案の総合評価と人間の行動とを同時に考慮した土木計画の評価の方法が樹立できることになる。さらに、今後とも続くであろう不確実性の時代に対応できる土木計画の新しい展開が可能となりうるであろう。

1-2 研究の概要

本論文の主要部分は6章から成り立ち、各章における研究の目的と方法は、以下のとおりである。

第2章では、評価項目、評価指標値、評価値、重み、代替案選定などの評価問題の構成要素に存在する不確実性を分類・整理したのち、従来の評価問題において、どの部分の不確実性が取り扱われてきたかを考察する。次に意思決定理論から不確実性下の代替案の総合評価問題を考察し、最後に本研究で着目した不確実性、土木計画代替案の総合評価および意思決定の考え方を述べる。

第3章では、意思決定者が1人の場合の土木計画代替案の総合評価問題を考察する。ここでは、特にこれまでの土木計画において欠如していた福祉効果を考慮するとともに、不確実な福祉評価指標値をもつ土木計画代替案の総合評価を取り扱う。福祉効果を考慮した土木計

画代替案の作成法については Drewnowski による福祉効果の相互依存表を修正したモデルを提案し、評価項目の不確実性の処理には、Paelinck による重み順位法の手順を修正した総合評価法を考察し、より一層実用化に寄与させる。

第4章では、土木計画代替案の明示が社会的混乱を起こすことを考慮して土木計画代替案が明示できないという条件のもとでの土木計画代替案の総合評価問題を取り扱う。ここでは、計画主体は土木計画代替案の提示を想定し、評価者によって評価項目に付与される重みがゆれ動くという事実に着目した問題として展開し、零和2人ゲームとして定式化を行う。そして、水資源計画と湾岸道路計画との2種類の事例を通じて本手法の実用性と適用限界について考察する。さらに、前者の事例については、Keeneyの多属性効用理論の結果と比較して、その有用性を考察する。

第5章では、土木計画代替案が公開される場合で、複数の評価者の存在を考慮した土木計画代替案の総合評価問題を取り扱う。第4章とは逆に、土木計画代替案が明示できるという条件に変わることにより総合評価問題は協力 n 人ゲームとして取り扱われることを明らかにする。この場合、複数の評価者が計画に参加できるため、共通の利害を有する評価者が提携していくつかのグループを形成するが、このグループ形成、およびグループによる評価項目の重みづけや効用値のゆれ動きによる不確実性を取り扱う。さらに、代替案選定には、多人数パワーに基づく公正による計画方法を提案するとともに、補償による合意形成の方法についても言及する。これらは適用事例を通じて、その意味と解釈を明らかにする。

第6章では、土木計画代替案の総合評価が行われ、最適な代替案が選定された場合、第5章で提案したようにグループ間の補償の調整が必要となるが、ここでは効用による調整に代る方法として具体的に便益と費用との調整に基づいた分権的達成による調整法を提案する。そして、交通施設プロジェクト周辺地域整備計画の事例研究を通じて実用性を考察する。

第7章では、以上の成果をとりまとめる。

以上述べた本論文の構成は、図1-2-1に示すとおりである。

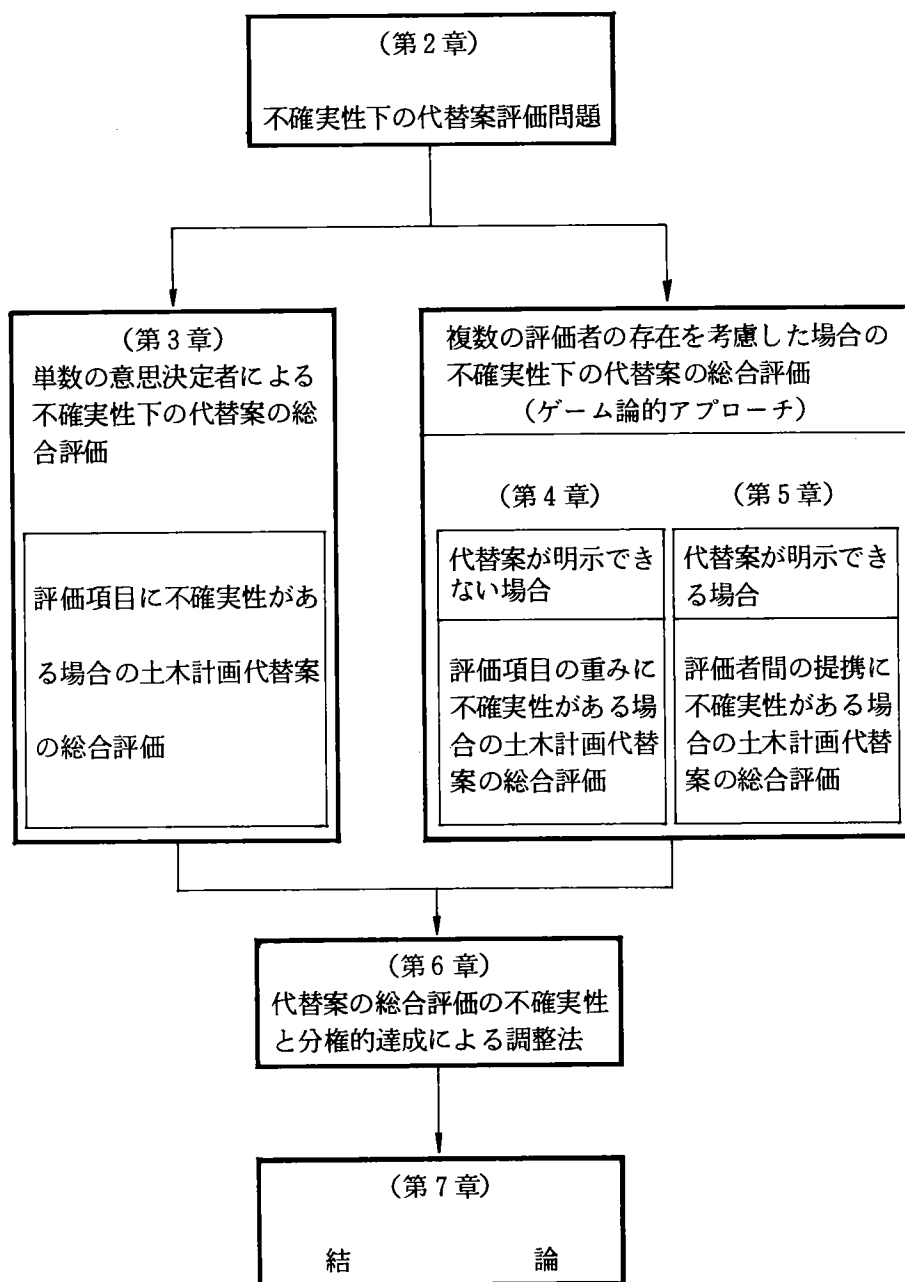


図1-2-1 論文の構成

第2章 不確実性下の代替案評価問題

2-1 概 説

本章では、評価問題に関連する不確実性問題の分類から始め、これまで評価問題において取り扱われてきた不確実性、あるいは意思決定理論での不確実性下の意思決定の方法を通じて、第3章から第5章まで展開する不確実性下の土木計画代替案の総合評価と意思決定の考え方についての出発点を整理する。

この場合、従来、土木計画代替案の総合評価に重要となる評価項目の重みに代表される不確実性の処理に際しては、多くの評価者から直接聞き出し、その結果を統計処理する方法がとられてきたが、このような考え方は、真値の存在を仮定したものであるとの反省を超えて、真値は分からないという新たな観点から土木計画代替案の総合評価についての考え方と取り扱い方についてまとめを行う。

最後に、本章で得られた成果をとりまとめる。

2-2 評価問題における不確実性の分類

公共福祉の増進を目指す土木事業は、自然界のシステムと人間社会システムとを融合・調和させることによって利便性の高い社会・経済活動や豊かな生活のための空間を創造する。それゆえに、土木事業の対象範囲は、自然現象から社会現象に至るまで広く、かつ多岐にわたっている。

こうした土木事業を取り巻く現代社会は、情報化、技術化、都市化などの進展とともに価値観の多様化した複合社会へと変貌しつつあり、それに伴って都市および地域環境は、自然、社会、経済が相互に絡み合った重層的な構造を形成するに至っている。このような複合社会における重層的な構造を有する都市および地域環境のなかで土木事業を計画・実施する場合、もはや経済的効率性の追求という単一目的評価問題としてよりも、むしろ多目的評価問題としての認識が必要とされる。また、同時に、今日の土木事業は、経済的、経営的、社会的、文学的、技術的、行政的、心理的、さらに美的といった多くの領域と関連する問題複合体としても認識されることから、多属性評価問題としての取り扱いも必要とされる。

以上のように現代の複合社会における土木事業は、計画段階において多目的・多属性評価問題として、また、その範囲が空間的にも時間的にも広がりのある評価問題としての位置づけが必要となっており、それゆえに、土木計画に対してあらゆる側面から多くの性質をもった不確実性が入り込んでくる状況にある。換言すれば、土木計画の構成要素あるいは評価プ

表 2-2-1 現象の定性的・定量的不確実問題の種類例示

分 類		事 例	摘 要
定 性 的	要因・項目の不明確 (複雑さ……………)	平和・幸福・安全・不安 ・危険	KJ法, ISM, DEMATEL, 因子分析・主成分分析
	概念のあいまいさ (指標のあるもの 不完全なもの ないもの) 価値観のゆれ動き ……………	美しい・楽しい 住みよい 便利さ 有用さ ……………	Fuzzy 集合とその応用 ある種の数量化理論 社会心理学 序数尺度等 ……………
定 量 的	確定した真値がある	有限個の数 数が多いとき 距離・重み等	数学的決定問題 標本調査 統計誤差, 情報理論 (データの増加)
	真値は不確定	フックの法則 波動方程式等	因果法則 理論解析 確定値問題 観測誤差, モデル誤差, 資料不足等
	真値は分からない	土圧強度等	統計的決定問題 (事前確率 (主観確率 事後確率 (客観確率)
定 量 的	観測値の表われ方から 真値を推測	水文学の対象等	不確実性の原理 ランダムネス 不規則波動方程式
	真値そのものが不確定	エルゴード性 量子力学等	確率統計の応用 (推計学) 予測誤差 (本質的な誤差)
	周期性があるらしい	地震・波動等	心理学的行動 ゲーム的な場合 ゲームの理論等
定 量 的	真値の存在は確かだが どんなものか, また推 定の方法が分からない	経済指標の予測等	
	人為的に動かされる	反対運動・公害等	

(文献 4) より)

住みよいといった言葉についても、概念そのものにあいまいさをもっている。このように定性的評価項目を計画論で取り扱う場合、評価する人により評価がゆれ動き、統一した見解や評価を得ることが難しい側面をもっている。

そこで、こうした定性的問題に係わる不確実性に対して評価項目や要因の抽出、関連性および階層性を整理し、評価者間の合意形成をはかるため、KJ法¹⁴⁾、ISM¹⁵⁾、DEMATEL¹⁶⁾、因子分析・主成分分析¹⁷⁾などが用いられている。また、概念そのものがもつあいまいさについては、ファジー理論による不確実性の処理¹⁰⁾が試みられている。

他方、定量的問題については、不確実性の性格、すなわち現象における真値の存在性や性格から、確定した真値がある場合、真値はあるが不確定な場合、真値は分からない場合の3つに分類される。

まず、確定した真値がある場合は、真値の存在が理論的に証明されるとともに観測によってもその存在が確かめられる。これに該当するものとしては、事象間の因果関係が一意的に記述される自然科学における諸問題である。たとえば、材料の強度がある。

第二に、真値が不確定となる場合である。これは、事象自身が時間的、空間的に変化する場合で、降雨量、地震波などの現象にみられる。不確実性は、確率論、統計学などによって処理されている。

第三は、真値自身の存在が分からないばかりでなく、確率論、統計学などを用いてもその存在を明らかにすることが困難な場合である。たとえば、人間社会にみられる交渉、談合、あるいは経済現象にみられる経済指標などがある。ここに現われる不確実性に対しては、確率論・統計学の応用、ゲーム理論⁷⁾によるアプローチが行われている。本研究もこの分野の不確実性について研究の対象とする。

以上のように、評価問題における不確実性については、定量的方向から定性的方向へ、また、真値そのものの存在が分かっている場合から分からない場合へと問題の展開が行われつつある。

ここで土木計画代替案の総合評価の流れを一般的に整理すれば、図2-2-2に示すようになる。この図の構成項目に含まれる不確実性を整理すれば、以下のようになる。

① 計画対象

土木計画の対象となるもので港湾、空港などの交通施設計画など施設計画から都市や地域問題を取り扱う都市・地域計画まで含まれるが、今日、これらの諸計画は複合かつ重層の問題となっているため、計画対象そのものに不確実性が含まれる。

② 問題点の抽出・整理

計画対象が抱えている問題点、たとえば交通混雑による施設容量不足、都市や地域の過密・過疎問題などの抽出と整理を行うが、計画対象と同様に、問題の領域や範囲に不確実性がある。

③ 評価者の存在

これは、計画主体を含めて土木計画に直接・間接関連するあらゆる階層や立場の評価者が存在し、時間的にも空間的にも不確実な存在であるとともに、土木計画代替案に対して主観的評価を与えるものである。本研究では、この評価者による土木計画代替案の評価の不確実性を取り扱う。

④ 計画目的の検討・整理

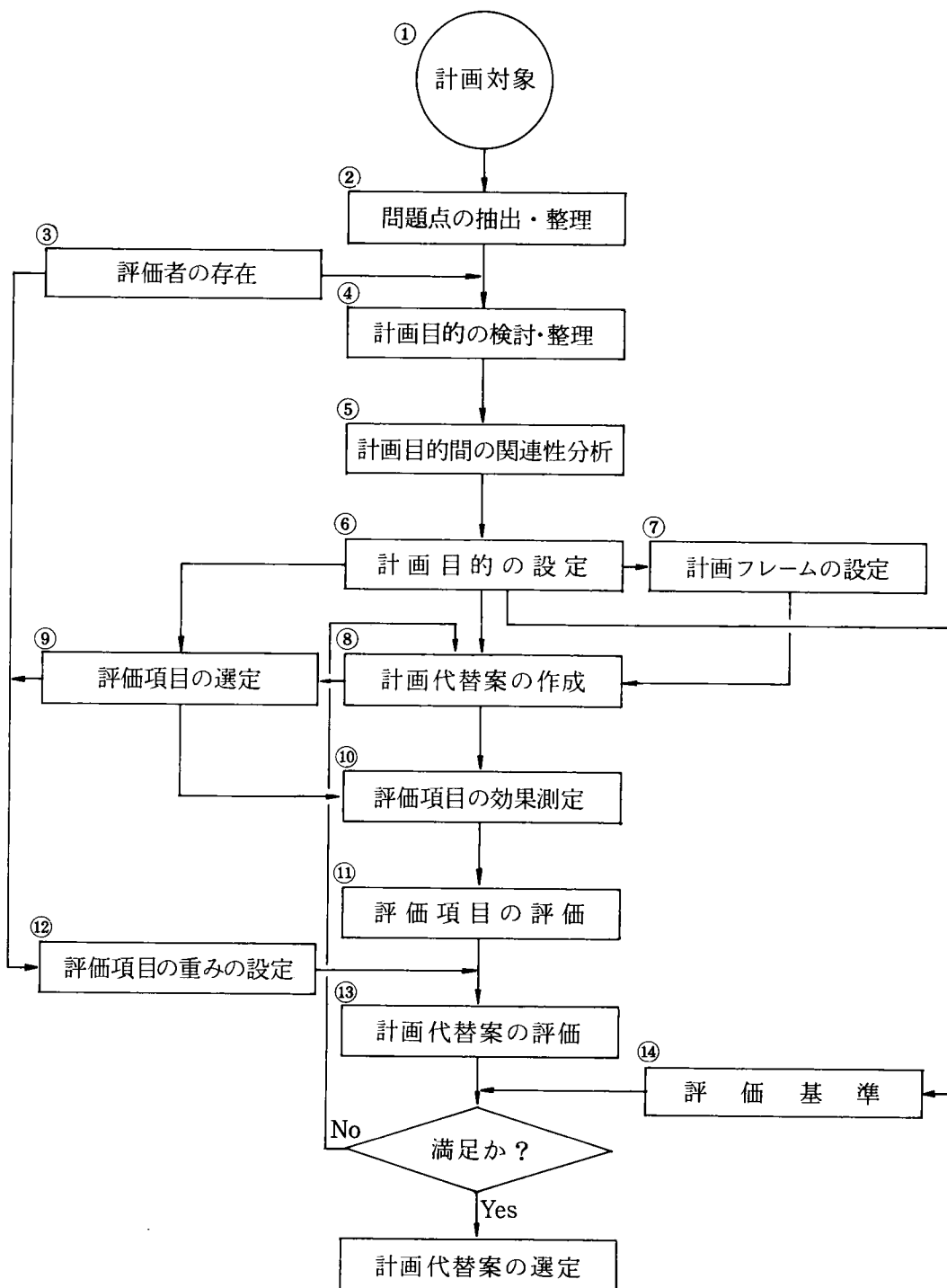


図 2-2-2 土木計画代替案の総合評価の流れ

混沌とした計画対象の問題を整理したのち、社会のあらゆる階層および立場の人に受け入れられるだろうと想定される計画目的を必要最少限、まず抽出する。この段階では計画目的のあいまいさや不確実性が多分に含まれる。

⑤ 計画目的間の関連性分析

抽出・整理された計画目的について重複しているものや類似しているものを除去し、相互に独立性の高い計画目的を整理する段階である。ここで、計画目的の不確実性がある程度減少される。

⑥ 計画目的の設定

独立性が高められた計画目的が、ここにおいて設定される。計画目的は、抽象的、概念的なものとなるために、その内容にあいまいさや不確実性が含まれる。今日の土木計画は、計画目的が複数となり、多目的、多属性評価問題となる。本研究においても、この点を強調している。

⑦ 計画フレームの設定

土木計画代替案作成の根拠と検討範囲を限定する計画の枠組みである。これは、計画変数の内生化と外生化に関連するものである。また、計画フレームは、計画対象や計画目的によって変化するため、これらが不確実性をもつことから、計画フレームも不確実性を含む。

⑧ 計画代替案の作成

将来の経済社会条件や適用可能な技術条件を考慮して、これらの条件の組合せのもとで計画目的に合致した適切な計画代替案が作成される。計画代替案作成の過程で劣位なことが自明な計画代替案は除かれる。

⑨ 評価項目の選定

計画目的あるいは計画代替案の優劣を評価するための具体的な評価項目の選定を行う。評価項目についても類似したものや関連性の高いものを除去し、不確実性を減少させる。

⑩ 評価項目の効果測定

土木計画の実施により直接・間接に対象地域にインパクトを与えるが、正または負の効果を具体的かつ定量的に把握するため、評価指標値で測定される。しかしながら、評価指標値は、時間的、空間的にゆれ動くものもある。また、土木計画の場合は観測が不可能なものもあり、この場合、過去の類似例から想定せざるを得ない。この点で不確実性を含む。本研究では、福祉指標に対してこの取り扱いを行っている。

⑪ 評価項目の評価

評価項目について具体的に測定した評価指標値は客観的なものであり、また異なる評

価項目においては単位が異なるため、このままでは土木計画代替案の優劣を直接評価することはできない。そのために、評価指標値の実現予測値に対して良い、悪いの判断を加えるため貨幣値や効用値などの主観的評価値に変換する必要がある。貨幣値は、市場機構が適正に働く理想社会では採用できても、すべてが貨幣値で表わされるとは限らない。これらの変換値は、人間の主観的判断によるため絶えず不確実性が含まれる。本研究では、これを効用値として取り扱うことにより、各評価者は土木計画代替案に対して明確に効用値をもって表現できるとしている。

⑫ 評価項目の重みの設定

土木計画代替案の優劣を決める評価項目は、すべて同等に取り扱われることはまれであり、多くの場合、重みづけを行っている。この重みは、従来、確定値があるものとして外生的に、与件としての取り扱いがなされてきたが、本研究では、立場により、また時間的にも変動するものと考えて不確定なものと認識し、これに不確実性の処理を行うことにした。

⑬ 計画代替案の評価

土木計画代替案の総合評価は、評価項目に対する評価値と重みとの線形結合による総合評価値によって行われることが多い。この場合、明確に優劣がつく場合と優劣がつけられずにパレート最適となっている場合とがある。後者の場合は、社会福祉関数と呼ばれる別の評価基準の導入や確率化代替案の選定法により土木計画代替案を選定する必要がある。ここにも不確実性が存在している。

⑭ 評価基準

土木計画代替案のなかから最適なものを選定する根拠を与えるものであるが、価値観の変化により変動するものであるから不確実性を含む。そのために、ある幅をもって適用、解釈する必要がある。

以上のように、不確実性問題の存在認識とその処理にあたって、最後まで不確実性がつきまとっているわけであるが、その実体を明確にすることが必要である。

本研究では、③評価者の存在、⑩評価項目の効果測定、⑪評価項目の評価、および⑫評価項目の重みの設定における不確実性の問題認識から土木計画代替案の総合評価の問題を、以下の各章において取り扱う。

2-3 従来の評価問題における不確実性の取り扱い

前節において土木計画の評価問題における不確実性の分類について考察を行い、不確実性問題が定性的問題と定量的問題とに大別されることを明らかにした。ここでは、土木計画の

評価問題を中心として従来より行われてきている不確実性の取り扱いについてまとめを以下に行う。

土木計画のプロセスは、一般に図2-3-1に示される。この土木計画のプロセスでは、複雑な自然・社会現象認識と多様性をもつ価値基準に基づく判断が入力源となり、計画の分析が始まる。さらに、計画の思考過程に重要な影響を与える情報流としての調査がある。そして計画の分析という変換集合を経て、出力集合としての代替案の評価と決定に至る。土木計画における不確実性は、このプロセスのあらゆる段階で発生し、これらが重合して土木計画における不確実性を生みだしている。ここでは、評価問題に関連する不確実性問題の取り扱いについて客観的な場合と主観的な場合とに分けて以下に概観する。

(1) 客観性に基づく不確実性の取り扱い

① エントロピー法

計画の調査・分析に係わる情報に不確かさ、あいまいがある場合である。計画情報のもつ不確実性は、Shannon によって開発されたエントロピー法¹¹⁾がある。これは、試行 T のあいまいさを $H(T)$ とすれば、次式のようなになる。

$$H(T) = - \sum_{i=1}^n p_i \log p_i \quad \dots\dots\dots (2-3-1)$$

ただし、 $p_i \geq 0$, $\sum_{i=1}^n p_i = 1$

なお、情報源の不完全さ、情報収集の未熟さや不適切さからくる不確実性さについては、処理が不可能である。

② 費用便益分析¹²⁾

土木計画の実施によってもたらされる便益や費用の不確実性を取り扱うものである。

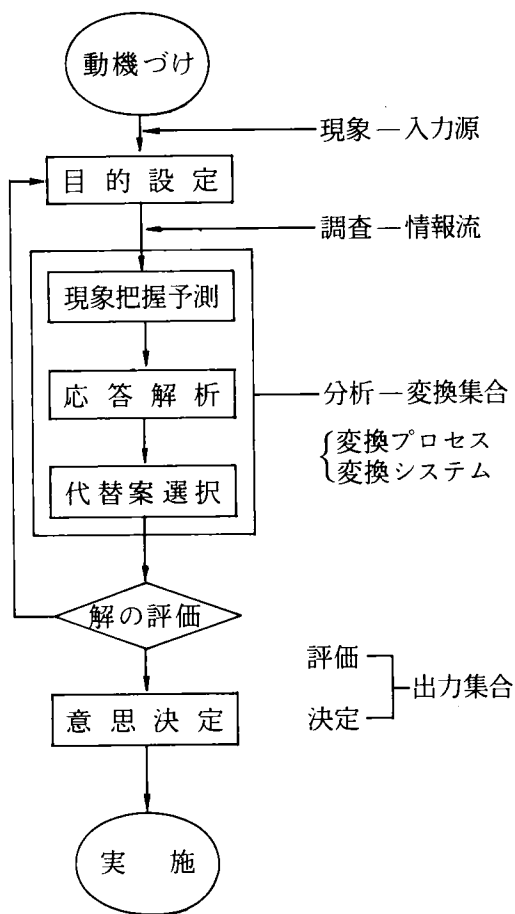


図 2-3-1 土木計画のプロセス
(文献1)より)

ここでは、便益を確率変数として次のように表わされる。

$$N = \sum_{t=1}^n \left[\frac{b_t}{(1+i)^t} \right] - C_0 \quad \dots\dots\dots (2-3-2)$$

ただし、 N ：純便益、 n ：プロジェクト・ライフ、 b_t ：毎年の便益、 C_0 ：初期投資額、
 i ：社会的割引率

式(2-3-2)で表わされる純便益を効用関数に変換し、確率変数化して、その期待値を求めるが、効用関数の確率密度関数の分布型について正規型の保証が得られないことから、一般に、社会的割引率やプロジェクト・ライフの操作により計画の不確実性を処理している。また、不確実性が大きいと、社会的割引率を未知数としてこの比較を行って、プロジェクトの良否を評価することも行われる。

③ 感度分析

計画変数やパラメータの操作による従属変数の感度分析を行って不確実性のもたらされる要因と範囲を明らかにする方法である。土木計画代替案の選定時に、計画主体の注意を最も有利な点、あるいは最悪な点に集中させる。パラメータの取りうる値の範囲については、代替案選定上適切と思われる大・中・小、あるいは楽観的・普通・悲観的な3つの値を選び、これらの結果に対する反応を調べ、安定度を確認することにより不確実性を処理する。

④ 追証分析

土木計画の目的を遂行するために分析された代替案Aは代替案Bよりも優れているという結果を得た場合、代替案Aに含まれている不確実性の要因を代替案Bよりさらに不利に定めても、なお代替案Aが優れているという結果が得られたならば、代替案Aの分析結果はより強いものと検討されたことになる。このようにして土木計画代替案に潜在する不確実性が代替案に及ぼす優位性を検証するものである。

⑤ 異変分析

土木計画を取りまく環境条件、価値基準に不確実性がある場合、いくつかの状況を想定して、各状況に対して土木計画代替案の優位性の安定度を検証する方法である。

⑥ 優劣分岐分析

土木計画代替案A、Bについての結果が等しくなる点を求めて、そのときに含まれている不確実性についての仮定のゆるやかさを検討して、土木計画代替案の優劣を判定する方法である。この方法は、不確実性を考慮した費用便益分析に適用されている。すなわち、費用便益の見積りの不確実性を信頼幅をもって表現し、便益の範囲を変化させて土木計画代替案の優劣に検討を加えるものである。

⑦ 弾力性分析

安全性や規模の経済など好ましい現象の出現を目的に行動しながら、将来の状況に応じて土木計画や設計を変えていけるように配慮した方法である。たとえば、確実性の大きい短期計画目標の追いかけて建設と、不確実性の伴う長期計画目標の段階型建設との優劣比較を行った研究¹³⁾がある。

(2) 主観性に基づく不確実性の取り扱い

① 要因分析法の利用

土木計画が、将来の望ましい社会を実現するための思考行動であると理解するならば、計画の動機づけは、目的とする社会のニーズのなかから最大公約として計画目標が定められることになる。たとえば、社会の福祉、平和、安全、厚生といった抽象的、上位的な概念でもって計画目標が設定されることになる。この計画目標の背景には、人間がもつ価値観があり、合意形成にとっては妥当であっても、それが社会を構成する個人や集団にまで至ると解釈や具体的な像が千差万別となり不確実性が大きくなるとともに、トレードオフを発生させる。このような不確実性の処理には、KJ法¹⁴⁾、ISM¹⁵⁾、DEMATEL¹⁶⁾、因子分析・主成分分析などの多変量解析法¹⁷⁾がある。

② ゲーム理論・ファジー理論の利用

土木計画の目的や目標に照らして土木計画代替案が評価され、意思決定されるが、この段階で計画主体や評価者の判断が直接に反映されるところである。と同時に、この段階での評価は、第三者にとって満足するものでなければならない。特に人間行動の不確実性が土木計画代替案の評価問題にとって大きな課題であると認識されるに至って、計画主体と評価者が対立する場での総合評価と意思決定が土木計画の重要な課題となっている^{18)~20)}。このような総合評価や意思決定における不確実性の取り扱いへのアプローチとしてゲーム理論^{7), 8)}やファジー理論¹⁰⁾などがある。本論文においても前者のゲーム理論の接近法により以下の各章において研究を展開している。

③ 確率・統計理論の利用

不完全な計画情報のもとで、事前確率あるいは主観確率を想定して決定基準を得たのち、ある計画情報を得て、前に得た決定基準を改良して意思決定する方法である。これには、Bayesの定理を応用した統計的決定理論がある。この研究例として文献6)がある。

④ 経験の活用

設計における安全率の設定や民間設備投資における予測値の想定のように経験豊富な技術者によって活用されている方法である。非科学的ではあるが、日常において実際に

よく行われる方法である。この分野でのこの過程の分析と理論的体系化は、今後重要となる。

(3) 不確実性の処理

前述したように土木計画のプロセスのあらゆる段階で不確実性が混入するが、計画の分析に不確実性を考慮して行う場合を含めてMecklingは不確実性を取り扱う視点として次の①～④を述べ、長尾はさらに⑤～⑥を追加している¹⁾。

- ① 不確実性の程度はどのくらいか。
- ② 不確実性を減らす手段として、どのようなものが考えられるか。
- ③ 不確実性を減らすのに、どのくらいの費用がかかるか。
- ④ 技術開発が進むにつれて、どのくらい不確実性が残るか。
- ⑤ 不確実性はどこで発生し、それはどんな種類か。
- ⑥ その不確実性のために、問題の発見、計画の分析、評価、決定にどのような影響を与えられているか。

以上の視点は、土木計画の不確実性を処理するのに重要である。

次に、不計測な不確実性に対して一般的に行われてきた処理の方法のおもなものを列挙すると、以下のとおりである。

- ① 土木計画代替案の実施による費用を大きめに、便益または効用を少なめに見積る。
- ② 土木計画代替案のプロジェクト・ライフを短めに見積る。
- ③ 土木計画代替案で取り扱う社会的割引率を大きくとる。
- ④ 土木計画代替案の実施によって発生する便益、または効用の大きさに比例して、重みづけを行う。
- ⑤ 土木計画代替案に含まれる不確実性の内容に関する確率分布が事前に分かっている場合、それを内生化して不確実性を考慮した計画を行うことが可能となる。
- ⑥ 土木計画代替案に弾力性をもたせる。
- ⑦ 土木計画代替案には不確実性はつきものであることを認識し、その存在と程度を明確にして土木計画代替案の選定を行う。

2-4 意思決定理論からみた不確実性下の代替案の総合評価

確実性下において意思決定が可能な場合は、むしろ今日の社会経済条件下では少ないといえる。たとえあっても限られた少数の評価項目でもって意思決定が行われているといえる。このような事情から、意思決定理論は、意思決定に必要な諸環境、あるいは情報条件が不確実性下にある場合、可能な限り意思決定者の心理的性格に合致するような意思決定の規則を

見い出すために開発された理論である²¹⁾

通常、土木計画における計画主体の意思決定そのものは、1人の人間が独立に意思決定を行っているわけではなく、複数の人間の意思決定が相互に関連性をもちながら、かつ影響しあいながら行われるという認識のもとで行われるものである。そのために、意思決定理論においては、意思決定の分析の必要性や重要性を、この意思決定の相互関連性、相互影響の取り扱いに重点が置かれている。また、意思決定理論においては、従来の自然科学が客観性を重視してきたことに対して、主観性を重視し、科学化しようとしている。そのために、おもに次の4点に特徴をもっている。

- ① 意思決定は、人間の合理的判断が必要とされることから人間の経験的判断、すなわち1人1人の人間の歴史における知的情報の蓄積に基づいた判断を重視する。
- ② 意思決定においては、複数の意思決定者の価値観が明示、反映される必要があることから、意思決定者の選好を取り扱うことを基本としている。
- ③ 選好の明示や調整にあたっては、効用という1つの共通尺度の導入を行い、これをもって意思決定の原点としていることが多い。したがって、この場合、意思決定の調整や合意形成は、効用を出発点とする。
- ④ ①でも述べたように、意思決定理論においては主観的判断が重要視されるが、意思決定のプロセスにおいては、従来の客観性に基礎を置く確率・統計理論に基づく客観的確率に代って、主観的確率の科学的取り扱いの位置づけが重要視されてきている。

以上のような特徴点をもつ意思決定理論においては、意思決定をシステム科学として把握するため、意思決定を分析単位として分割するとともに、総合化が行えるようにモデル化が行われており、それは以下のようなものである。

(1) 意思決定の基本モデル

① 代替案の作成

意思決定の直接対象となるものである。土木計画においては、現状のままで何もしないという代替案を含めて土木計画代替案が有限個作成される。

② 結果の予測

代替案の実施によってもたらされる結果である。土木計画においては、土木計画代替案の実施によってもたらされる経済的、社会的、および自然的効果として予測されるものである。通常は、評価項目に対して適切に選定された評価尺度値で表現される。

③ 評価

代替案の実施によってもたらされる結果を評価したもので、評価は可能である。土木計画においては、費用便益理論に基づいた貨幣タームによる評価尺度値の評価の表現、

効用による表現などがよく使われる。

④ 代替案の実施と結果との関係

代替案の実施によってもたらされるインパクトとその結果との関係を決めるものである。土木計画においては、土木計画代替案がもつインパクトともたらされる結果とは、関数関係で表現される。

⑤ 結果と評価との関係

結果の評価を決める関係である。土木計画においては、土木計画代替案の実施によってもたらされる結果と評価とは別に設けた評価関数などにより関数関係で表現される。

⑥ 決定基準

意思決定の判断を示す基準である。土木計画においては、最大満足、便益最大または費用最小などの決定基準が用いられる。この決定基準は多くの場合、与件として与えられる。

(2) 不確実性を伴う意思決定問題

不確実性下における意思決定問題は、Savage²²⁾によれば、次のように要約される。すなわち、

A : 代替案の集合

θ : 自然の状態(評価項目)の集合

X : 結果の集合

f : 写像 $A \times \theta \rightarrow X$

(X, \succeq) : 意思決定者の X 上の選好関係

とすれば、

$(A, \theta, X, f, (X, \succeq)) \dots\dots\dots (2-4-1)$

で規定される決定問題である。

この種の決定問題においては、基数的効用関数の存在を前提として理論が展開されることが多い。²³⁾

また、不確実性下における意思決定問題においては、多くの場合、この効用値と主観的判断に基づいた主観的確率との積である期待効用や、効用値そのものが決定に重要な役割を果たす。

(3) 決定基準

意思決定理論における不確実性下の意思決定については、表 2-4-1 に示されるペイオフ・マトリックスが基本となる。

表 2-4-1 ペイオフ・マトリックス

代替案 A	自然の状態 θ					
		θ_1	θ_2	..... θ_j .....	..... θ_m	
a_1		u_{11}	u_{12}	u_{1j}	u_{1m}	
a_2		u_{21}	u_{22}	u_{2j}	u_{2m}	
\vdots		\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	
a_i		u_{i1}	u_{i2}	u_{ij}	u_{im}	
\vdots		\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	
a_n		u_{n1}	u_{n2}	u_{nj}	u_{nm}	

ただし, $u_{ij} = u(a_i, \theta_j)$

u_{ij} : 代替案 i の評価項目 j による評価値

a_i : 代替案 i

θ_j : 評価項目 j

① ラプラス基準 (等見込み基準)

評価項目の生起確率を等確率とみなして期待効用値を最大にする代替案を選択するものである。すなわち,

$$\max_i \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m u_{ij} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad \dots\dots\dots (2-4-2)$$

これは、評価項目について将来生起する状態についての情報が不足して分からないとき、すべての状態が同じ確率をもっていると考えるのが公平であるとする立場であるが、必ずしも現実的ではない。

② マクシミン (ミニマックス) 基準

意思決定者と自然または相手との間がゲーム的状况にある場合に代替案を選択する基準である。すなわち,

$$\max_i \min_j u_{ij} \quad \dots\dots\dots (2-4-3)$$

または,

$$\min_j \max_i u_{ij} \quad \dots\dots\dots (2-4-4)$$

マクシミン基準は、自然またはある意思決定者が選択した代替案に対して、その結果が最悪となるような状態を出現させる、または導く行動を取るという立場で代替案を選択するものである。不確実性をもつ将来または相手の行動に対して保守的、悲観的に対処する方法である。ミニマックスは、マクシミンと逆の場合である。

③ マクシマックス(ミニミン)基準

代替案の実施によってもたらされる総効用を大きめに、または小さめにとって代替案を選択する方法である。すなわち、

$$\max_i \max_j u_{ij} \dots\dots\dots (2-4-5)$$

または、

$$\min_i \min_j u_{ij} \dots\dots\dots (2-4-6)$$

これは失敗してももともとで、効用を大きくしようとする基準であり、進歩的、楽観的な立場で代替案を選択する立場である。

④ フルビッツ基準

これは、マクシミン基準とマクシマックス基準との中間の原理である。すなわち、

$$\max_i \{ \alpha \max_j u_{ij} + (1-\alpha) \min_j u_{ij} \} \dots\dots\dots (2-4-7)$$

ただし、 α ：楽観係数、($0 \leq \alpha \leq 1$)

将来の不確実性に対して保守的、悲観的な態度と進歩的、楽観的な態度とを折衷したこの基準は納得性に富むが、 α の決め方に問題が残る。

⑤ サベージ基準(ミニマックス・リグレット基準)

不確実性下の意思決定においては、ある特定の代替案(実現した状態のもとの最良の代替案)を除いて、その代替案を選んだことによる他の最良の代替案との差に相当するリグレットを伴うことに着目し、このリグレットを最小にする代替案を選定しようとするのがこの基準である。すなわち、

$$\min_i \max_j (\max_j u_{ij} - u_{ij}) \dots\dots\dots (2-4-8)$$

または、

$$\min_i \max_j (u_{ij} - \min_j u_{ij}) \dots\dots\dots (2-4-9)$$

⑥ 効用最大基準

これは、Keeneyによって実用化された不確実性下の多属性評価問題における代替案を選択する方法²³⁾である。これは、選好独立と効用独立との条件を考慮して導かれた加法形式と相乗形式による総合評価値が最大となる代替案を選択する方法である。すなわち、

選好独立：ある任意の2つの評価項目の間の選好は、他の評価項目の評価水準に依存しない。

効用独立：ある任意の評価項目に関するかけに対する選好は他の評価項目の評価水準に依存しない。

とすれば、次のようになる。

〔加法形式：選好独立が成立〕

$$\max_i \sum_{j=1}^m k_j \cdot u_{ij} \dots\dots\dots (2-4-10)$$

〔乗法形式：選好独立と効用独立が成立〕

$$\max_i \{1 + k \cdot u_i\} = \max_i \left\{ \prod_{j=1}^m [1 + k \cdot k_j \cdot u_{ij}] \right\} \dots\dots\dots (2-4-11)$$

ただし、 k_j ：評価項目 j のスケーリング・コンスタント

k ：スケーリング・コンスタント

(4) 不確実性下の代替案の総合評価

以上において意思決定理論において取り扱われている不確実性下の代替案の選択法について概観したが、これらの方法でもってしても今日の多目的・多属性な複合問題体に対して適切に対応できるわけではない。目的や決定基準は意思決定プロセスにおける前提条件にすぎず、また、意思決定の前提条件や意思決定基準は意思決定者の間ですべて同一ではない。したがって、ある意思決定者が、自分の意思決定の前提条件に導かれるままに意思決定をしようとしても、意思決定の前提条件が相互依存関係にあることから、コンフリクトが生じて意思決定ができない状態に至ることがある。

しかしながら、現実には意思決定がなされている。これは、各意思決定者の決定基準が満足基準であり、さらに意思決定者の合理性に限界があって、逆に意思決定に影響を与えない範囲で問題を限定したり、時間的にコンフリクトを解決しながら不確実性下の意思決定が行われている。

したがって、不確実性下の代替案の総合評価は、便益や効用を最大とする目的指向型のクローズド・モデルから意思決定に係わる評価者の欲求水準を満足させるオープン・モデルへ展開し、現実の意思決定に接近させるものでなければならない。

本研究においては、1人の意思決定者によるクローズド・モデルから複数の評価者が存在する場合のオープン・モデルへと不確実性下の代替案の総合評価問題を第3章から第6章において検討する。

2-5 本研究で着目した不確実性下の代替案の総合評価と意思決定の考え方

これまで述べてきた評価問題における不確実性の取り扱いや意思決定問題から本研究で着目した点を整理すれば、以下のようになる。

(1) 評価者の存在と不確実性

土木事業は、現実の社会システムと直接に係わることから、当該土木事業に直接、間接にあらゆる階層や立場の人と関係があり、そのために土木計画そのものに対して何らかの意味で評価を行う人が常に複数存在するものである。現代のような複合社会においては、土木計

画はあらゆる側面から評価される状況にあり、計画主体は、そのような評価者の存在を意識しながら複数の土木計画代替案を評価・選定しなければならない。場合によっては、厳しい評価を受けるかもしれない。このような評価者は、単数の場合も複数の場合もあるが、本研究では、複数の評価者をまとめて評価主体ということにする。

さて、土木計画代替案の総合評価に際しては、意思決定者が1人で意思決定を行う場合も考えられるが、上述したように多くの場合、複数の評価主体の存在を意識して土木計画代替案の総合評価が行われる。このとき、土木計画に評価主体が参加するか、しないかにより土木計画代替案の総合評価の方法が異なる点に着目しなければならない。

まず、土木計画に評価主体が参加できない場合（本研究では代替案が明示できない場合と呼んでいる）、計画主体は評価主体の存在を想定しながら土木計画代替案の総合評価を行うが、計画主体は、どの評価項目に意地の悪いと思われる評価を与えられるかも知れないことを考慮する必要がある。このような不確実な状況は、計画主体と評価主体との間のゲームであると考えられる。本研究では、最初にこの点に着目した。

次に、土木計画に評価主体が参加できる場合（本研究では、代替案が明示できる場合と呼んでいる）、計画主体は、評価主体の存在はもちろん評価主体間の提携によるグループ形成という特異な問題点に対処しなければならない。すなわち、利害の一致する評価主体間の提携により団結力と人数の多いグループにより土木計画代替案の総合評価が行われ、この力の強弱によって土木計画代替案が選定される。このような不確実な状況は、評価主体間の協力 n 人ゲームであると考えられる。本研究で着目した第二の点は、これである。

（2）評価項目の指標値の不確実性

土木計画代替案の優劣を決める評価項目の指標値そのものが不確実な場合である。自然科学のように観測が繰り返し可能な場合と異なり、社会科学分野を多く含む土木計画代替案に係わる評価項目の指標値は、観測の繰り返しが不可能である。そのために、研究対象地域と類似した地域や過去の類似調査事例から評価項目の指標値の変動幅を予想しなければならない。しかしながら、評価項目が福祉効果といったやや抽象性の高い評価項目になると、これまで研究事例が少ないことから不確実性そのものが大きくなる。この場合、評価項目の指標値の不確実性は、土木計画代替案の作成や評価項目に付与する重みの変化により対処する方法が考えられる。本研究においては、第3章の福祉効果を考慮した土木計画代替案の総合評価においてこの問題を取り扱う。ただし、この場合、計画主体自身が、この種の不確実性に対処するものとしている。

（3）評価項目の評価の不確実性

評価項目の評価は、主観的判断によるため同一の評価項目であっても価値観の異なる人に

より評価、たとえば効用値は変わる。すなわち、指標値が同じでも評価値が変わるということである。そのために統一した評価尺度値をもって評価を固定することは、一般には、難しく、この点において不確実性が含まれる。しかしながら、土木計画代替案の総合評価を一步前進させるためには、この点を克服しなければならない。本研究においては、評価項目の評価には効用値を用い、これを出発点として土木計画代替案の総合評価法を考察することとしているため、効用値の設定は、あらかじめ土木計画参加者により合意形成が得られ、統一化されているものとする。この点について本研究では立ち入って検討を行わないが、Keeney らによってその有効性は確かめられている²³⁾。したがって、評価主体は効用値をもって土木計画代替案の良さを表示することができるとともに、各評価項目に対して適切な効用値を与えることができ、土木計画代替案別に評価マトリックスをもっているものとしている。

(4) 評価項目の重みの不確実性

評価項目の評価と同様に、価値観によって評価項目に与える重みの順序や大きさが異なるため、不確実性を含んでいる。従来の研究では、土木計画代替案の総合評価に際しては、評価項目に付与すべき重みの真値が存在するものとして、アンケートなどにより真値の近似値を決定しようとする方法が行われてきたが、本研究では、この点について重みの真値はないものとの認識から出発して、この状況における土木計画代替案の総合評価の方法について検討を行うことにする。この観点からの土木計画代替案の総合評価は、おもに第4章で取り扱う。この場合、評価主体は土木計画に参加できないとしているが、参加できる場合は、評価主体に内部の合意形成により評価項目の重みが与えられるとしている。この場合は、第5章で取り扱う。このような取り扱いは、多くの事例から、より実際的であると判じたことによる。

(5) 土木計画代替案の確率化と意思決定

土木計画代替案は、評価項目の評価値や重みが決定されれば、両者の線形結合による総合指標値の大小によって土木計画代替案の優劣が決められ、最大の総合指標値をもつ土木計画代替案が最適なもの、あるいは最良のものとし選択される場合が多かった。しかしながら、土木計画を多目的・多属性評価問題として取り扱うならば、複数の最適解をもつパレート最適状態となる。したがって、意思決定者は、パレート最適解に含まれる土木計画代替案のいずれも選定することが可能となる。この場合、適正な評価基準もしくは社会福祉関数が明確に与えられておれば、それで判断すればよい。実際には、そのような条件下におかれることはまれである。しかし、一つの土木計画代替案を選定しなければならない。このような場合、意思決定者は、土木計画代替案の選定を確率化して、一つの土木計画代替案を選定する必要がある。この点に着目した研究は、第4章において述べられる。

(6) 評価主体間の提携の不確実性と公正に基づいた意思決定

土木計画が一般に提示できる場合、評価主体は利害の一致する者同志が提携を行い、グループを形成して有利なように土木計画代替案を評価し、計画主体にそのグループが支持する土木計画代替案を選定させようと働きかける。この場合、グループはいくつか形成されるから少人数で力の弱いグループは、多人数グループが推し進める土木計画代替案が選定されれば、弱小グループ内に不満が残ることになる。もちろん、評価主体は、弱小グループの不満が小さくなるように土木計画代替案を選定し、意思決定を行うが、なおかつこの不満に対して、多人数グループからの効用を移転させ、グループ間の利害調整を行うことをしなければならない。これは、一つのプロジェクトが計画決定されてゆく過程で、よく見受けられる。このような評価主体間の提携によるグループ形成の不確実性と公正を目指した利害調整に着目した研究は、第5章において理論的に取り扱う。

(7) 分権的達成による調整

上記の(6)で述べたグループ間の利害調整は、おもに効用値のやりとりを取り扱ったものであった。しかしながら、実際には、効用値による公正の調整は不可能であるため、身替り施設や代替施設の建設、もしくは補償といった行為など具体的な方法によって利害の調整が行われている。そして、本研究の成果の実用性を検討するために、交通施設プロジェクト周辺地域整備計画へ適用し、しかも利害調整にあたっては効用値の授受ではなく、費用と便益に基づいた貨幣タームによる利害調整について考察する。このような考察を行っておけば、身替り施設や代替施設整備の行動をも含むことになる。これについては、第6章において取り扱う。

2-6 結 語

本章では、不確実性下の土木計画評価問題について、不確実性の分類、これまでの評価問題における不確実性の取り扱い、意思決定理論における不確実性および本研究で展開しようとしている不確実性について検討および整理を行ってきた。ここで、得られた成果をとりまとめると以下ようになる。

- ① 不確実性問題は、真値が分かっているものから分からないものへ、また、定量的処理から定性的処理へ移行するにつれて、その取り扱い方も難しくなっており、新たな対処が必要である。
- ② 土木計画代替案の総合評価に際しては、複数の評価者の存在が無視しえず、むしろ今日の土木計画代替案の総合評価と選定に大きな影響力をもっている。
- ③ 社会科学分野と係わりが強い土木計画においては、評価項目そのものに不確実性が含

まれるため、指標値も幅をもって解釈する必要がある。特に、福祉指標のような新しい評価項目の不確実性の取り扱いが必要である。

- ④ 評価項目の重みについては、真値があるとするよりも真値がないとした方が、取り扱いが容易になるとともに、ゲーム論的に取り扱うことにより土木計画代替案の総合評価の新たな展開が可能となる。
- ⑤ 土木計画代替案の総合評価と選定にあたっては、総合評価値の大小によって行うよりも、多目的・多属性評価問題として土木計画を認識することによりパレート最適な複数の土木計画代替案に対して一義的に最適解として得るより、選択を確率化した対処法を用いる方がより实际的であるとした。
- ⑥ 評価主体間の提携によるグループ化による状況においても、土木計画代替案の総合評価が可能となることが述べられた。また、この場合、最大不満の最小化を目指すとともにグループ間の効用値の格差の調整によって不満の解消をはかる方向で処理する方が、より实际的であり、計画としては優れている。
- ⑦ しかしながら、評価主体間の効用値の授受は現実には不可能に近いことから、不満をもつグループに対して身替り施設、代替施設を提供できるように費用と便益の授受に問題を置き換え、その具体化の方法として分権的達成の手法を示すことが有効である。

第2章 参考文献

- 1) 長尾義三：土木計画序論－公共土木計画論－，共立出版株式会社，pp. 222～232，昭和47年．
- 2) 宮川公男編著：PPBSの原理と分析，有斐閣，昭和44年．
- 3) 長尾義三：土木計画における不確実性とその評価，土木学会誌，第55巻，9月号，pp. 39～43，1970年．
- 4) 長尾義三：土木事業における不確実問題，土木学会誌，第65巻，9月号，pp. 2～6，1980年．
- 5) 黒田勝彦：不確実性を考慮した土構造物の調査・設計・施工に関する研究，京都大学学位論文，昭和47年11月．
- 6) 浅岡 顕：統計的決定理論による盛土の信頼性設計と施工計画に関する研究，京都大学学位論文，昭和52年3月．
- 7) von Neumann, J. and O. Morgenstern: Theory of Games and Economics Behavior, Princeton University Press, 1944.
- 8) Luce, R.D. and H. Raiffa: Games and Decisions, Introduction and Criticalcal Sur-

vey, John Wiley and Sons, 1957.

- 9) 戸田正直・中原淳一：ゲーム理論と行動理論，情報科学講座 C12・1，共立出版株式会社，昭和46年.
- 10) Zadeh, L. A., K.S.Fu, K. Tanaka and M. Shimura : Fuzzy Sets and their Applications to Cognitive and Decision Processes, Academic Press, 1975.
- 11) Shannon, C. E. and W. Weaver : A Mathematical Theory of Communication, University of Illinois Press, 1949.
- 12) Good, H. H. and R. E. Machol : System Engineering, McGraw-Hill, 1957.
- 13) 長尾義三・森杉寿芳・吉田哲生：非弾力性需要のもとにおける段階建設について，土木学会論文報告集，第205号，pp. 73～86，1976年6月.
- 14) 川喜多二郎・牧島信一編：問題解決学，KJ法ワークブック，講談社，昭和51年.
- 15) 河村和彦：複雑な社会問題を取扱う一手法，Interpretive Structural Modeling，計測と制御，16-1，pp. 157～161，1977年.
- 16) Fontela, E. : DEMATEL Report No. 2, Analytical Methods, Battelle, 1973.
- 17) 奥野忠一ほか：多変量解析法，統多変量解析法，日科技連，1971年.
- 18) Isard, W. and Y. Nagao : International and Regional Conflict : Analytic Approaches, Balinger Publishing Company, 1983.
- 19) 黒田勝彦・長尾義三：不確実性とファジー性下の意思決定の定式化，第2回土木計画学研究発表会講演集，pp. 204～209，1980年1月.
- 20) 石田東生：Fuzzy代数を用いた総合評価に関する基礎的考察，第2回土木計画学研究発表会講演集，pp. 210～216，1980年1月.
- 21) 宮川公男：意思決定の経済学 I, II，丸善，1968年.
- 22) Savage, L. J. : The Foundations of Statistics, John Wiley and Sons, 1954.
- 23) Keeney, R. L. and H. Raiffa : Decisions with Multiple Objectives, Preferences and Value Tradeoffs, John Wiley and Sons, 1976.
- 24) 戸田常一：交通施設計画の総合評価手法とその応用に関する研究，京都大学学位論文，昭和55年3月.
- 25) 瀬尾美巳子：多目的評価と意志決定，日本評論社，昭和59年3月.
- 26) 土木学会編：土木計画における総合化，土木計画学シリーズV，技報堂出版株式会社，1984年.
- 27) 近畿地方建設局：総合評価手法に関する文献・資料，昭和53年10月.
- 28) 若井郁次郎：総合評価における評価項目の重みづけの方法，第11回土木計画学シンポジ

ウム, pp. 71～73, 昭和52年6月.

- 29) 若井郁次郎：総合評価の方法論のパターン化, 土木学会関西支部都市施設計画の総合評価研究委員会研究報告, pp. 113～124, 昭和54年7月.
- 30) 若井郁次郎・柳田保男・奥田享：総合評価手法及び評価基準（尺度の定量化）の設定に対するアプローチ, 第13回日本道路会議一般論文集, pp. 37～38, 昭和54年10月.

第3章 単数の意思決定者による不確実性下の代替案の総合評価

3-1 概 説

本章では、意思決定者が単数の場合であって、しかも代替案総合評価のための評価項目に不確実性を内包する場合について取り扱う。

土木計画代替案の総合評価に際して、総合評価に必要な最少限個の評価項目が選択され、その評価指標値が確定値として処理・評価されるのが、従来の方法である²⁵⁾。しかしながら、人間社会の福祉向上を究極的な目的とする土木事業の計画においては、その内容について広領域にわたる総合的な分析が要求されるとともに、土木事業がもたらす経済効果や福祉効果などの把握と帰属とを明らかにすることも要求されている。こうした場合、異なる次元の評価項目を同一尺度で計測することはもちろん、相互比較することも不可能である。しかも、調査対象分野が広領域にわたることから、不確実性の混入する余地が多い。

近年、土木事業の計画のみならず多くの地域開発プロジェクトにおいて、経済効果に加えて福祉効果の定量的表現の開発が要求されているところであるが、福祉効果のように多属性評価問題の場合に、一層上述した評価項目の不確実性問題が重要となる。しかし、意思決定者は、評価項目の不確実性に対処して意思決定をしなければならない。言い換えれば、意思決定者は、土木計画代替案の評価項目やそれに対する重みに関連する不安を残しながら、複数の代替案のなかから、最適性基準や満足性基準に基づいて代替案を選択する必要がある。

以下においては、道路新線建設計画を研究対象として、道路の建設と供用による直接効果から形成される福祉状態について、生活における豊かさ、快適性、健康の3つの福祉効果を考慮した場合の代替案の総合評価について取り扱う。

3-2 福祉効果を考慮した土木施設計画の総合評価

3-2-1 経済循環の把握

(1) Quesnayの経済表

経済活動の全体的な姿の枠組みと、その枠組みのなかで動いている経済諸量の相互依存のかたちを把握しようという試みはQuesnayの「経済表」¹⁾における経済循環図式が最も古く、かつ著名なものであろう。それは、経済循環の姿を簡潔に表示したもので、経済循環の全体的な姿の枠組みと、経済の相互依存関係を明確にした点において重要な役割りを果たしている。

Quesnayは、経済表において経済活動を構成する階級を、農民階級(生産的階級)、地主あるいは所有者階級、商工業者階級(不生産的階級)の3つに大別し、その階級間で行われる年

々の経済の動きを総括的に示した。しかし、この経済循環は、生産の拡大にあてられるのではなく、生産物はすべて年々同じだけの直接消費と生産的消費とにあてられるにすぎず、経済の拡大と成長は考慮に入れられていない²⁾。

(2) Leontief の産業連関分析

産業連関分析は、国民経済の相互依存関係を相互に関連する経済主体間の数量的関係の表、すなわち産業連関表に直し、経済の動きを産業間の生産技術的連結構造に焦点づけて究明する分析方法である³⁾。それは、社会の諸階級間の貨幣の流れと財貨の流れとが、諸階級の「収支関係」を基礎として成立するという Quesnay の構想に、一般均衡論の相互依存関係の考え方を結びつけたものである。

産業連関表は表 3-2-1 のように中間産業部門の投入・産出状況を行列で表示することにより、最終需要の変動が中間部門でどのように波及していくかを分析し、各産業の総産出量を予測する。

この原理を利用して、公共投資によって各産業や、国民所得にどのような効果が生じるかを推測することが可能となる。

表 3-2-1 産業連関表

投入 産出		中 間 需 要						最終需要	総 生 産	
		産業1	産業2	産業3	.....	産業j	.....			産業n
中 間 投 入	産業1	x_{11}	x_{12}	x_{13}	.....	x_{1j}	.....	x_{1n}	F_1	X_1
	産業2	x_{21}	x_{22}	x_{23}	.....	x_{2j}	.....	x_{2n}	F_2	X_2

	産業i	x_{i1}	.....	.....	.....	x_{ij}	.....	x_{in}	F_i	X_i
.....	産業n	x_{n1}	.....	.....	.....	x_{nj}	.....	x_{nn}	F_n	X_n
付加価値		V_1	V_2	.....	.....	V_j	.....	V_n		
総 支 出		X_1	X_2	.....	.....	X_j	.....	X_n		

(文献 4) より)

(3) 経済活動・福祉状態の指標化

集団の経済行動を共通の価値尺度である貨幣単位を用いて巨視的・解剖学的にとらえようとするものを「国民経済計算」という。国民経済計算を利用して各国の経済を比較するために提案された基準のひとつに SNA (System of National Accounts) があった。SNA は、財貨・サービスに関する生産・分配・支出の、いわゆる財のフロー面を記録する「国民所得勘

定」に限られ、貨幣のフロー、財および貨幣のストックについては把握できなかった。

この点を改良するため新SNAでは、SNAに加えて、Leontiefの産業連関表やコープランドの資金循環表、国際貸借対照表の4つの国民経済計算勘定を体系的にまとめ、経済活動をフロー(所得)とストック(資産)、財(実物取引)と貨幣(金融取引)の面から多角的に観ることができるようになった⁵⁾。これを表3-2-2に示す。また、SNAおよび新SNAの比較は表3-2-3に示すとおりである。

表3-2-2 新SNAの体系(行列表示縮約表)

貸 方 \ 借 方			1		2		3		4				5		6		7	
			①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯
1 期首資産	①	金 融 資 産										○		○				
	②	純 有 形 資 産										○						
2 生 産	③	商 品				×	×		×	×			×					
	④	活 動			×		×											
3 消 費	⑤	消 費 支 出						×					×					
	⑥	所 得 ・ 支 出			×	×						×	×					
4 蓄 積	⑦	資本 在 庫 増										×						
	⑧	形成 固定資本形成										×						
	⑨	資本 金 融 資 産										×		×				
	⑩	調達 制 度 部 門	○	○				×			×				○	○	○	○
5 海 外	⑪	経 常 取 引			×	×	×	×										
	⑫	資 本 取 引	○	○							×		×		○	○	○	○
6 調 整	⑬	金 融 資 産										○		○				
	⑭	純 有 形 資 産										○						
7 期 末 資 産	⑮	金 融 資 産										○		○				
	⑯	純 有 形 資 産										○						

(注) 1. ×はフロー，○はストックを示す(そのおのおのが、また行列の勘定をなす)。

2. 横行が貸方，縦列が借方に当たる。縦列では期首・期末資産を期首・期末負債に，純有形資産を正味資産に読みかえる。

出所：「国民経済計算調査会議報告」，p.20，1977年11月。

しかし、SNAや新SNAは、国全体の年々の経済活動の規模を示すため、経済の急激な発展過程で公害の激化、交通事故の増大など福祉を阻害する要因が現われ、市場で購入できる財貨やサービスのみでは、満たされない欲求が増大してきている場合については触れることができない。経済政策や計画の究極的な目的は国民の生活向上や福祉向上にある以上、経済活

表3-2-3 新旧SNAの範囲の比較

		新 SNA		旧 SNA	
		フロー	ストック	フロー	ストック
実物取引	最終生産物	○ ¹⁾	○ ⁴⁾	○ ¹⁾	×
	中間生産物	○ ²⁾	×	×	×
金融取引		○ ³⁾	○ ⁵⁾	×	×

(注) 1) 国民所得勘定 1), 2) 産業連関表 3) 資金循環表
 4), 5) 国民貸借対照表 1), 3) 国際収支表
 (文献5)より)

動の規模だけではなく、このような問題点について評価に入れる必要がある。国民所得の概念を経済活動の規模を示す体系としてとらえ、国民所得では評価されえないプラスおよびマイナスの要素を貨幣額で計測し、それを加除することによって福祉国民所得、または純国民福祉というべき新しい福祉指標を構成しようとするものがNNW(Net National Welfare)である⁶⁾。

しかしながら、マイナスの要素といえども、たとえば環境汚染については、その絶対額を直接推計することが困難なため、実際には基準年(昭和30年)における環境汚染は原則的にはなかったものとの仮定から出発し、その後の金額は昭和30年度との相対的比較によって推計されたものである。したがって、この成長や都市化に伴う損失の推計には、今後、なお多くの研究がなされなければならない⁷⁾。

3-2-2 土木施設の経済効果

(1) 個別的計測方法⁸⁾

土木施設、交通施設の建設によってもたらされる個別の経済効果を原単位を用いて計測し、これを集計する積み上げ方式が、個別的計測方法と呼ばれるものであり、おもなものを以下に列挙する。

① 費用便益分析

土木施設が建設された場合と、されない場合の受益者の便益の差異によって測定しようとするものである。受益者の受ける経済効果は、直接効果と間接効果との2種類に分けられる。

間接効果は計測が困難なことから、大部分直接効果に限定して便益の計測が行われている。

② インパクト・スタディ

たとえば「道路建設がその沿道の地域社会に及ぼす社会的・経済的影響」を計測するもので、間接効果を計測するのが中心である。その原理は経済効果を計測するために必

要な経済指標を選定し、道路建設による指標の変化を計測することにある。これには、研究地域において時系列的に指標を計測する前後比較法、研究地域と建設されない比較地域とを比較し、その差異で効果を計測する地域比較法がある。

③ 日本道路公団方式

上述した①と②の2つの手法を併用した分析方法である。計測の対象が異なることによる両手法の補完的な性格を利用したものであり、直接効果および間接効果を通じて、貨幣タームによる計測可能な効果のみを計測して集計する点に特徴がある。

④ 個別的計測法の評価

土木施設建設のもたらす個別の経済効果が具体的にいかなる形態をとりつつ発生するかを明らかにすることができ、したがって一般の人々に対する説得力があるものの、個別の経済効果のとり方の漏れと重複とによって、これら個別の経済効果をアグリゲートしたものが総余剰増分等で示される理論的合計値に一致する保障がないという短所をもっている。

(2) 総合的計測方法^{8),9)}

ある経済尺度を用いて、2次効果および波及効果を含めた経済効果全体を地域間産業連関分析を基礎において計測する方式が、総合的計測方法と呼ばれるものであり、おもなものとして地域間産業連関分析および地域間産業連関プログラミングの手法に基礎をおくティンバーゲン・モデル、モーゼス・モデル、天野・藤田モデルなどがある。

(3) 従来の評価法の問題点

従来の評価法は、その性格から環境アセスメント手法と対立するものとなっており、経済効果分析が正当に評価されていないようである。そのため、効果分析にあたっては、経済効果を正当に評価するとともに、経済効果を貨幣タームで把握するだけでは不十分であり、福祉水準向上にどのように寄与しているかを解明する必要がある。

そのために、次に社会指標を用いた分析手法について述べることにする。

3-2-3 社会指標を用いた評価方法

(1) 社会指標

社会的変数のうち、定量化されるものを社会指標と呼ばれる。社会指標は、すでに国連、OECDなどの機関で開発、公表されている^{6),10)-20)}。社会的変数がひとつの定量化できる要素から構成されるとき、その社会的変数は、そのひとつの社会指標によって完全に表現されるが、一般には、重複しない複数の指標から構成される。

定量化には、その社会指標固有のタームで行うことによりさまざまな具体的状況が反映できるため、福祉をいくつかの社会指標で表現し測定できることになる。こうして得られる社

会的変数を「測定可能な福祉」という。

(2) 社会指標の分類

測定可能な福祉には、まったく異なった2つの形態がある。それは、福祉のフローと福祉状態(ストック)である。フローとは、国民の周期的に発生するニーズに対する単位時間当たりの充足の割合を示し、ストックはある一時点における国民の状態を表現する²¹⁾。したがって、ストック指標はアウトプット指標であるのに対して、フロー指標は、フローとストックとの2つの性格をもつ。福祉の水準は、このアウトプット指標によって測定される。

3-2-4 Drewnowski のモデル²¹⁾

(1) 経済的変数と社会的変数との相互依存性

開発の結果を貨幣タームで表現することは、提供される資源については評価されるもののそれらが人間の生活にどのような影響を与えるかについては評価されなかった。Drewnowski は、社会・経済的実態はひとつであり、開発を単一の社会・経済的実態の質的变化と量的成長の過程と定義する。純粋な社会開発・経済開発は存在しないことから「開発」という単一の過程にして考えるのが良いわけである。以下、このモデルについて概観する。

① 福祉効果

a. 福祉の産出

物資の生産と分配・消費という経済的過程は最後の段階で福祉を産出する。従来の経済計算では無視されている部分である。

b. 福祉効果の測定

福祉産出過程の結果は経済成長の「福祉効果」として測定される。表現方法は、生活水準を1人当たりの国民生産物で除したものである。

$$WE = \frac{LL}{Y} \quad \dots\dots\dots (3-2-1)$$

ただし、WE：福祉効果

LL：生活水準

Y：1人当たり国民生産物

または、

$$WE = \frac{LL}{C} \quad \dots\dots\dots (3-2-2)$$

ただし、C：1人当たり消費量

次に、こうして得られた福祉のフロー(生活水準)は福祉状態を形成する。

$$WE_2 = \frac{\Delta SW}{\Delta LL} \dots\dots\dots (3-2-3)$$

ただし、 WE_2 ：福祉効果（第2段階）

SW ：福祉状態

この2つの段階を総合して総福祉効果(WE_T)が得られる。

$$WE_T = \frac{\Delta SW}{\Delta C} \dots\dots\dots (3-2-4)$$

c. 福祉産出関数

こうした福祉産出効果を強調するために福祉生産関数を定義する。

$$u = ax \dots\dots\dots (3-2-5)$$

ここに、 u ：福祉の構成要素

x ：福祉の構成要素が依存しているいろいろな資源

a ：パラメーター（変換係数）

② 生産性効果

a. 定義

経済成長は社会的条件に影響を及ぼす（福祉を産出する）だけでなく、福祉の増加は労働者の質に改善効果を及ぼす。このフィードバック過程は福祉の生産性効果と定義される。

b. 生産性効果の測定

第1段階：福祉状態が労働の質を改善する。

$$PE = \frac{\Delta Q}{\Delta SW} \dots\dots\dots (3-2-6)$$

ただし、 PE ：生産性効果

Q ：労働の質

SW ：福祉状態

第2段階：改善された労働の質がより大きな生産性効果を発揮する。

$$PE_2 = \frac{\Delta Y}{\Delta Q} \dots\dots\dots (3-2-7)$$

ただし、 PE_2 ：生産性効果（第2段階）

Y ：生産物

(2) 経済的変数と社会的変数の相互依存表

① 相互依存表

(1)で述べた経済的変数と社会的変数との間の相互依存を投入産出表で表わしたのが相互依存表であり、これを表3-2-4~5に示す。

これには、当面の計画期間を対象とする短期モデルと、その期間終了後の未来の期間を対象とする長期モデルの2種類がある。

相互依存表は3段階からなっている。第1段階は生産に関連する。ここには国民経済計算において一般に必要とされる情報が含まれる。第2段階は福祉の産出である。消費財が国民の福祉に及ぼす影響と関連する。第3段階は福祉状態の生産効果の産出である。

相互関係は、本質的にはフローであり、このフローはそれぞれの指標に固有な物的タムで表現される。

② 社会指向型開発計画手法

前項までの議論によって、開発を経済・社会の両側面から評価する社会指向型開発計画手法が定式化される。

ここで用いられる記号は相互依存表と同じものである。ただし、

$$X_j^A = X_j - X_j^0 \quad \dots\dots\dots (3-2-8)$$

X_j^A : 現在の計画期間中に蓄積された活動の増加分

X_j^0 : 現在の福祉状態

X_j : 現在の計画期間中の活動の蓄積

u_j, u'_j : 目的関数のなかにパラメータとして入る評価係数(それぞれ短期, 長期)

U, U' : 極大化さるべき福祉のフローを表わす目的関数の値(それぞれ短期, 長期)

以下、短期モデルの場合について検討する。²¹⁾

$$\begin{aligned} \text{目的関数 } U = & u_{81} X_{81} + u_{82} X_{82} + u_{83} X_{83} + u_{84} X_{84} + u_{85} X_{85} + u_3 X_3^A \\ & + u_4 X_4^A + u_5 X_5^A \rightarrow \max \quad \dots\dots\dots (3-2-9) \end{aligned}$$

制約条件は次のとおりである。

$$\left. \begin{aligned} & a_{1 \cdot 61} b_{61 \cdot 81} X_{81} + a_{1 \cdot 62} b_{62 \cdot 82} X_{82} + a_{1 \cdot 63} b_{63 \cdot 83} X_{83} \\ & \quad + a_{1 \cdot 64} b_{64 \cdot 84} X_{84} + a_{1 \cdot 3} X_3 + a_{1 \cdot 4} X_4 + a_{1 \cdot 5} X_5 \leq X_1^0 \\ & a_{2 \cdot 61} b_{61 \cdot 81} X_{81} + a_{2 \cdot 62} b_{62 \cdot 82} X_{82} + a_{2 \cdot 63} b_{63 \cdot 83} X_{83} \\ & \quad + a_{2 \cdot 64} b_{64 \cdot 84} X_{84} + a_{2 \cdot 3} X_3 + a_{2 \cdot 4} X_4 + a_{2 \cdot 5} X_5 \leq X_2^0 \\ & a_{3 \cdot 61} b_{61 \cdot 81} X_{81} + a_{3 \cdot 62} b_{62 \cdot 82} X_{82} + a_{3 \cdot 63} b_{63 \cdot 83} X_{83} \\ & \quad + a_{3 \cdot 64} b_{64 \cdot 84} X_{84} + a_{3 \cdot 3} X_3 + a_{3 \cdot 4} X_4 + a_{3 \cdot 5} X_5 \leq X_3^0 \\ & a_{4 \cdot 61} b_{61 \cdot 81} X_{81} + a_{4 \cdot 62} b_{62 \cdot 82} X_{82} + a_{4 \cdot 63} b_{63 \cdot 83} X_{83} \end{aligned} \right\} (3-2-10)$$

表 3-2-2-4 相互依存表 (現在)

受 け 取 る 活 動																		
蓄 積						消 費 (6)			生 活 水 準 (8)			福 祉 状 態 (9)						
労働の質	労働の量	資本	技術	過程の財	栄 養	住 宅	健 康	教 育	φ	栄 養	住 宅	健 康	教 育	余 暇	状 況	状 況	状 況	浪 費
1	2	3	4	5	61	62	63	64	7	81	82	83	84	85	91	92	0	
労働	1																	
労働の質	2																	
資本	3																	
技 術	4																	
過程中の財	5																	
栄 養	61																	
消 費 住 宅	62																	
(6) 健 康	63																	
教 育	64																	
消費以外のニーズの充足	7																	
福 祉 生 活 水 準	81																	
産 出 (福 祉 の	82																	
第 2 フ ロー)	83																	
ス テ ッ プ	84																	
(8) 教 育	85																	
余 暇	86																	
福 祉 状 態	91																	
生 産 性 効 果	92																	
(9) 教 育 状 況	93																	
浪 費 お よ び 悪 分 配	0																	
(文献21)より)																		

(文献 21) より)

表 3-2-5 相互依存表 (未来)

受 け 取 る 活 動														
現 在 か ら					未 来									
労働の質	労働の質	資本	技術	過剰中の財	消 費					生 活 水 準				浪 費
1	2	3	4	5	F61	F62	F63	F64	F81	F82	F83	F84	F 0	
現 在	労働				$x_1 \cdot F_{61}$	$x_1 \cdot F_{62}$	$x_1 \cdot F_{63}$	$x_1 \cdot F_{64}$					$x_1 \cdot F_0$	X_1^A
	労働の質				$x_2 \cdot F_{61}$	$x_2 \cdot F_{62}$	$x_2 \cdot F_{63}$	$x_2 \cdot F_{64}$					$x_2 \cdot F_0$	X_2^A
	資本				$x_3 \cdot F_{61}$	$x_3 \cdot F_{62}$	$x_3 \cdot F_{63}$	$x_3 \cdot F_{64}$					$x_3 \cdot F_0$	X_3^A
	技術				$x_4 \cdot F_{61}$	$x_4 \cdot F_{62}$	$x_4 \cdot F_{63}$	$x_4 \cdot F_{64}$					$x_4 \cdot F_0$	X_4^A
	過剰中の財				$x_5 \cdot F_{61}$	$x_5 \cdot F_{62}$	$x_5 \cdot F_{63}$	$x_5 \cdot F_{64}$					$x_5 \cdot F_0$	X_5^A
未 来	F61								$x_{F61} \cdot F_{81}$				$x_{F61} \cdot F_0$	X_{F61}
	F62									$x_{F62} \cdot F_{82}$			$x_{F62} \cdot F_0$	X_{F62}
	F63										$x_{F63} \cdot F_{83}$		$x_{F63} \cdot F_0$	X_{F63}
	F64											$x_{F64} \cdot F_{84}$	$x_{F64} \cdot F_0$	X_{F64}
来 生 活 水 準	F81													
	F82													
	F83													
	F84													
浪 費	F0				x_{F61}	x_{F62}	x_{F63}	x_{F64}	x_{F81}	x_{F82}	x_{F83}	x_{F84}	x_{F0}	

(文献 21) より)

$$\begin{aligned}
& + a_{4 \cdot 64} b_{64 \cdot 84} X_{84} + a_{4 \cdot 3} X_3 + a_{4 \cdot 4} X_4 + a_{4 \cdot 5} X_5 \leq X_4^0 \\
& a_{5 \cdot 61} b_{61 \cdot 81} X_{81} + a_{5 \cdot 62} b_{62 \cdot 82} X_{82} + a_{5 \cdot 63} b_{63 \cdot 83} X_{83} \\
& + a_{5 \cdot 64} b_{64 \cdot 84} X_{84} + a_{5 \cdot 3} X_3 + a_{5 \cdot 4} X_4 + a_{5 \cdot 5} X_5 \leq X_5^0
\end{aligned}$$

$$X_{81}, X_{82}, X_{83}, X_{84}, X_3^A, X_4^A, X_5^A \geq 0 \quad \dots\dots\dots (3-2-11)$$

これは線形計画法であり、シンプレックス法などにより解くことができる。制約条件式における係数は効果係数と呼ばれ、産業連関分析における投入係数にあたり、 a_{ij} , b_{ij} は表 3-2-6 のように与えられる。

長期モデルについても、同様に定式化して解くことができる。

表 3-2-6 効果係数

	1	2	3	4	5	61	62	63	64
1			$a_{1 \cdot 3}$	$a_{1 \cdot 4}$	$a_{1 \cdot 5}$	$a_{1 \cdot 61}$	$a_{1 \cdot 62}$	$a_{1 \cdot 63}$	$a_{1 \cdot 64}$
2			$a_{2 \cdot 3}$	$a_{2 \cdot 4}$	$a_{2 \cdot 5}$	$a_{2 \cdot 61}$	$a_{2 \cdot 62}$	$a_{2 \cdot 63}$	$a_{2 \cdot 64}$
3			$a_{3 \cdot 3}$	$a_{3 \cdot 4}$	$a_{3 \cdot 5}$	$a_{3 \cdot 61}$	$a_{3 \cdot 62}$	$a_{3 \cdot 63}$	$a_{3 \cdot 64}$
4			$a_{4 \cdot 3}$	$a_{4 \cdot 4}$	$a_{4 \cdot 5}$	$a_{4 \cdot 61}$	$a_{4 \cdot 62}$	$a_{4 \cdot 63}$	$a_{4 \cdot 64}$
5			$a_{5 \cdot 3}$	$a_{5 \cdot 4}$	$a_{5 \cdot 5}$	$a_{5 \cdot 61}$	$a_{5 \cdot 62}$	$a_{5 \cdot 63}$	$a_{5 \cdot 64}$
61									
62									
63									
64									
7									

	7	81	82	83	84	85	91	92
1								
2								
3								
4								
5								
61		$b_{61 \cdot 81}$						
62			$b_{62 \cdot 82}$					
63				$b_{63 \cdot 83}$				
64					$b_{64 \cdot 84}$			
7						$b_{7 \cdot 85}$		

(文献21)より)

③ Drewnowski のモデルの評価

Drewnowski のモデルは、次の2点で意義をもつ。

- 経済的変数と社会的変数との相互依存関係を分析し、福祉産出効果、生産性効果を明確にした。

- 「開発の一体制」という観点から社会指向型計画モデルを定式化した。

しかしながら、このモデルを実際の計画に用いるには解決されなければならない多くの問題が残されている。このモデルの特徴は無次元的な「共通の尺度」で表わされた生活水準指数の線型結合により福祉状態を表現することにある。そのため、

- 生活水準あるいは、一般的な福祉を表現するにあたってどのような社会指標を用いるか、

- 無次元的な「共通の尺度」をどのようにして設定するか、ウェイト付けをどのように行うか、

という2つの問題が残る。この問題について Drewnowski は、次の3点基準方式を提案している。すなわち、各指標の測定単位が異なることから、総合化するために次のような換算方法を提案している。

	尺度値
O point (Survival point)	0
M point (Minimum requirement point)	100
F point (Full satisfaction point)	200

そして、各指標ごとの、O, M, F 点は各専門家によって決められるとしている。共通尺度が決まれば、スライド・ウェイト方式でウェイト付けを行っている。

この考え方に基づいて昭和47年に東京都では「二基準点方式による福祉指標」の作成を試みた。²²⁾ そこでは3点基準方式は発展途上国に対して考慮されたものであるから、日本の社会では、M point, F point を考えれば十分であるとしている。もちろん、マイナスイ指標についても考えられている。また、ウェイトについては世論調査による方法が提案されている。

以上2つの方法は、方法論として納得できるが、尺度やウェイトの決め方に問題が残る。

3-2-5 従来の研究と問題点

著者は、Drewnowski の社会指向型開発計画モデルを改良して道路建設投資と、それによって形成される社会資本としての道路が生み出す直接的便益を計測し、それが福祉水準を表わすと考えられる社会指標にどのような影響を与えるかを定量的に把握しようとした。²³⁾ そこ

では、表3-2-7に示すように道路建設投資の生みだす効果(便益)の波及過程を直接効果の発生(第1ステップ)、交通サービスが消費されることによって発生する間接効果(第2ステップ)、間接効果が生活水準に与える影響(第3ステップ)、生活水準による福祉状態の形成(第4ステップ)の4段階に分割し、各ステップを表わすと考えられる指標を用いて、福祉向上を測定しようとした。

しかしながら、この波及効果表においては、道路が社会に及ぼしている公害(大気汚染、振動、騒音など)といったマイナス要因には何ら言及されておらず、いわば建設投資の増加に伴って福祉状態も向上するという結果しか生まれない。

そこで、道路建設投資によって生じるマイナス要因を表わすと考えられる指標を用いることにより、この波及効果表を修正するとともに、これを用いて道路代替案の評価を行うために、新たに修正モデルを作成した。これについて以下に述べることにする。

3-2-6 福祉効果を考慮した土木施設計画の総合評価

(1) 概 説

① 基本的な考え方

道路建設投資を例としてそれによって形成される社会資本としての道路が生みだす直接的便益を計測し、それが福祉状態を表わす社会指標にどのような影響を与えるかを、プラス面ばかりでなくマイナス要因も考慮に入れて定量的に把握しようとするものである。なお、福祉状態から浪費への効果は、把握が困難なため省略した。

道路建設投資による波及効果の過程は、基本的にはDrewnowskiが提案した相互依存表によっており、表3-2-8を出発として修正した表3-2-9に示すように全体として3段階から成り立っている。第1段階は生産に関連したものであり、初めの5つの活動は生産要素を表現している。それらの産出は、「蓄積」あるいは「消費」のなかへ入っていく。第2段階は消費財が生活水準に寄与し、また生活水準は消費以外の源泉からも投入物を受け取る。第3段階は、生活水準が福祉状態を形成する。

② モデルの特徴

直接効果の測定に対しては、個別的に計測し集積する個別測定方式をとっている。従来の費用便益分析における便益の測定法と異なるのは、貨幣タームのみでの評価はせず、できる限り固有のタームで計測することである。

(2) 修正波及効果表

修正波及効果表を表3-2-9に示す。また、修正波及効果係数を表3-2-10に示す。これはDrewnowskiの相互依存表を道路建設投資に適用したものである。ここでは各指標に説明を加える。

表 3-2-7 波及効果表

受け取る活動		直 接 効 果				間 接 効 果				生 活 水 準				福 祉 状 態			
		事 業		利 用 者		周 辺		生 産 額		消 費 額		余 暇 時 間		個 人 所 得		レ ジ ャ ー	
		建 設 投 資		走 行 時 間		走 行 費		走 行 時 間		走 行 費		走 行 時 間		走 行 費		走 行 時 間	
		10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13
寄与する活動	事業	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13
	建設投資	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13
	周辺交通	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13
	周辺交通	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13
間 接 効 果	事業	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13
	建設投資	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13
	周辺交通	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13
	周辺交通	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13
生 活 水 準	個人所得	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13
	個人所得	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13
	個人所得	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13
	個人所得	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13
福 祉 状 態	豊かさ	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13
	豊かさ	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13
	豊かさ	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13
	豊かさ	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13
浪 費	建設投資	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13
	建設投資	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13
	建設投資	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13
	建設投資	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13

表 3-2-8 基本波及効果表

受け取る活動		蓄			積		消					費		生活水準
		道路部門 労働者数	道路部門 の労働 者の質	道路の 社会資本	技術力	過程 の財	鉄鋼業	セメント業	.....	サービ ス業	走行時間 の節約	走行費用 の節約	周辺交通 走行時間 の節約	
寄与する活動	道路部門の 労働者数	1	2	3	4	5	61'	62'	.....	n'	61	62	63	.....
	道路部門の 労働者の質			x ₁₋₃	x ₁₋₄	x ₁₋₅	x _{1-61'}	x _{1-62'}	.....	x _{1-n'}				
	道路の 社会資本			x ₂₋₃	x ₂₋₄	x ₂₋₅	x _{2-61'}	x _{2-62'}	.....	x _{2-n'}				
	技術力			x ₃₋₃	x ₃₋₄	x ₃₋₅	x _{3-61'}	x _{3-62'}	.....	x _{3-n'}	x ₃₋₆₁	x ₃₋₆₂	x ₃₋₆₃	
	過程中的財			x ₄₋₃	x ₄₋₄	x ₄₋₅	x _{4-61'}	x _{4-62'}	.....	x _{4-n'}				
生産	過程中的財	5		x ₅₋₃	x ₅₋₄	x ₅₋₅	x _{5-61'}	x _{5-62'}	.....	x _{5-n'}				
	鉄鋼業	61'												
	セメント業	62'												
	:	:												
	:	:												
消費	サービス業	n'												
	走行時間 の節約	61												
	走行費用 の節約	62												
	周辺交通 走行時間 の節約	63												
	:	:												
生活水準														

表 3-2-9 修正波及効果表

受け取る活動	蓄積	消費			費用			生活水準			福祉			状態
		走行時間の節約	走行費用の節約	周辺交通走行時間の節約	大気汚染増減	生産額増加	レジャー活動費	個人所得	地方税	社会的費用	豊かさ(持ち家数)	快適性(下水道普及率)	健康(平均寿命)	
寄与する活動	1	21	22	23	24	25	31	32	33	34	41	42	43	0
	X_{1-1}	X_{1-21}	X_{1-22}	X_{1-23}	X_{1-24}	X_{1-25}								X_1^0
							X_{21-31}	X_{21-32}	X_{21-33}	X_{21-34}				X_{21}^0
							X_{22-31}	X_{22-32}	X_{22-33}	X_{22-34}				X_{22}^0
費用	23						X_{23-31}	X_{23-32}	X_{23-33}	X_{23-34}				X_{23}^0
							X_{24-31}	X_{24-32}	X_{24-33}	X_{24-34}				X_{24}^0
							X_{25-31}	X_{25-32}	X_{25-33}	X_{25-34}				X_{25}^0
											X_{31-41}	X_{31-42}	X_{31-43}	X_{31}^0
生活水準	32										X_{32-41}	X_{32-42}	X_{32-43}	X_{32}^0
											X_{33-41}	X_{33-42}	X_{33-43}	X_{33}^0
											X_{34-41}	X_{34-42}	X_{34-43}	X_{34}^0
														X_{41}^0
福祉状態	42													X_{42}^0
														X_{43}^0
														X_{43}^0
														X_{43}^0
	X_1	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{24}	X_{25}	X_{31}	X_{32}	X_{33}	X_{34}	X_{41}	X_{42}	X_{43}	X_0

表 3-2-10 修正波及効果係数

受け取る活動		蓄積	消費						生活水準				福祉		健康 (平均 寿命)
			その他の 道路資本	走行時間の 節約	走行費用の 節約	周辺交通 走行時間の 節約	大気汚染	生産額 増加	レジャー 活動費	個人所得	地方税	社会的 費用	豊かさ (持ち 家数)	快適性 (下水道 普及率)	
寄与する活動	1	1	21	22	23	24	25	31	32	33	34	41	42	43	
	道路資本	$a_{1\cdot 1}$	$a_{1\cdot 21}$	$a_{1\cdot 22}$	$a_{1\cdot 23}$	$a_{1\cdot 24}$	$a_{1\cdot 25}$								
	走行時間の 節約	21						$a_{21\cdot 31}$	$a_{21\cdot 32}$	$a_{21\cdot 33}$	$a_{21\cdot 34}$				
	走行費用の 節約	22						$a_{22\cdot 31}$	$a_{22\cdot 32}$	$a_{22\cdot 33}$	$a_{22\cdot 34}$				
消費	23							$a_{23\cdot 31}$	$a_{23\cdot 32}$	$a_{23\cdot 33}$	$a_{23\cdot 34}$				
	周辺交通 走行時間の 節約	23						$a_{23\cdot 31}$	$a_{23\cdot 32}$	$a_{23\cdot 33}$	$a_{23\cdot 34}$				
	大気汚染	24						$a_{24\cdot 31}$	$a_{24\cdot 32}$	$a_{24\cdot 33}$	$a_{24\cdot 34}$				
	生産額増加	25						$a_{25\cdot 31}$	$a_{25\cdot 32}$	$a_{25\cdot 33}$	$a_{25\cdot 34}$				
生活水準	31											$a_{31\cdot 41}$	$a_{31\cdot 42}$	$a_{31\cdot 43}$	
	レジャー 活動費	31										$a_{31\cdot 41}$	$a_{31\cdot 42}$	$a_{31\cdot 43}$	
	個人所得	32										$a_{32\cdot 41}$	$a_{32\cdot 42}$	$a_{32\cdot 43}$	
	地方税	33										$a_{33\cdot 41}$	$a_{33\cdot 42}$	$a_{33\cdot 43}$	
	34											$a_{34\cdot 41}$	$a_{34\cdot 42}$	$a_{34\cdot 43}$	

① 第1段階 直接効果

直接効果は建設投資と利用者便益、周辺住民の便益および消費部門に分けて効果を測定することができる。道路建設投資について投入された額は、その原料、材料の確保にあてられるため、鉄鋼業やセメント業からサービス業に至る分野においても消費される。しかし実際には、消費部門のうち、鉄鋼業からサービス業に至る指標については、統計資料が得られなかったため、今回の研究では省略した。(表3-2-11, 表3-2-12)

〔指標1 道路資本〕

道路建設投資は有効需要を喚起するばかりでなく、新線と接続するためのアクセスをも誘発する。ただし、投資はプロジェクト・ライフの初期に集中するため、他の効果との比較などについては時間の影響を考慮しなければならない。

$x_{1,1}$: 蓄積として新たな道路資本を誘発するフロー

$x_{1,25}$: 新たな投資財源としての、生産指標へのフロー

② 第2段階 生活水準の形成

〔指標21 走行時間の節約〕

高速道路を利用することによって得られる走行時間の節約は、道路の利用者の交通目的によって分類され、業務目的の交通であれば生産資本の節約と考えられ、またレジャー活動費、通勤によるものであれば個人所得に帰する。

$x_{21,31}$: 「レジャー活動費」へのフロー

$x_{21,32}$: 「個人所得」へのフロー

〔指標22 走行費用の節約〕

私的交通の走行費用の節約により、レジャー活動費が増す。

$x_{22,31}$: 私的交通の場合で「レジャー活動費」へのフロー

〔指標23 周辺交通走行時間の節約〕

周辺交通走行時間の節約により、レジャー活動費が増す。

$x_{23,31}$: 私的交通の場合で「レジャー活動費」へのフロー

〔指標24 大気汚染〕

道路が建設されることにより、自動車の排気ガスにより大気が汚染され住民の社会的費用が増す。

$x_{24,34}$: 「社会的費用」へのフロー

〔指標25 生産額増加〕

生産額増加により、個人所得が増す。

$x_{25,32}$: 「個人所得」へのフロー

表 3-2-2-11 修正波及効果表

受け取る活動		蓄積	消費					生活水準				福祉		状態		
			その他の道路資本	走行時間の節約	走行費用の節約	周辺交通走行時間の節約	大気汚染増	生産額増加	レジャー活動費	個人所得	地方税	社会的費用	豊かさ(持ち家数)		快適性(下水道普及率)	健康(平均寿命)
寄与する活動		1	21	22	23	24	25	31	32	33	34	41	42	43	0	
		生産道路資本	$x_{1,1}$	—	—	—	$x_{1,25}$									X_1^0
		消費走行時間の節約						$x_{21,31}$	$x_{21,32}$	—		—				X_2^0
		消費走行費用の節約						$x_{22,31}$	—	—	—	—				X_3^0
		消費周辺交通走行時間の節約						$x_{23,31}$	—	—	—	—				X_4^0
費用		大気汚染						—	—	—	$x_{24,34}$				X_5^0	
		生産額増加						—	$x_{25,32}$	$x_{25,33}$	—					X_6^0
		レジャー活動費										—	—	$x_{31,43}$		X_7^0
		生活個人所得										$x_{32,41}$	—	$x_{32,43}$		X_8^0
		生活地方税										$x_{33,41}$	$x_{33,42}$	$x_{33,43}$		X_9^0
生活水準		社会的費用										$x_{34,41}$	$x_{34,42}$	$x_{34,43}$	X_{10}^0	
		福祉豊かさ(持ち家数)														X_{11}^0
		福祉快適性(下水道普及率)														X_{12}^0
		福祉健康(平均寿命)														X_{13}^0
			X_1	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{24}	X_{25}	X_{31}	X_{32}	X_{33}	X_{34}	X_{41}	X_{42}	X_{43}	X_0

表 3-2-12 修正波及効果係数

受ける活動	蓄積	消費					生活水準				福祉状態		
		走行時間の節約	走行費用の節約	周辺交通走行時間の節約	大気汚染	生産額増加	レジャー活動費	個人所得	地方税	社会的費用	豊かさ(持ち家数)	快適性(下水道普及率)	健康(平均寿命)
寄与する活動	その他の道路資本	1	21	22	23	24	31	32	33	34	41	42	43
	1	$a_{1\cdot1}$	—	—	—	—	$a_{1\cdot25}$						
生産	道路資本	1											
消費	走行時間の節約	21					$a_{21\cdot31}$	$a_{21\cdot32}$	—	—			
	走行費用の節約	22					$a_{22\cdot31}$	—	—	—			
	周辺交通走行時間の節約	23					$a_{23\cdot31}$	—	—	—			
	大気汚染	24					—	—	—	$a_{24\cdot34}$			
生活水準	生産額増加	25					—	$a_{25\cdot32}$	$a_{25\cdot33}$	—			
	レジャー活動費	31									—	—	$a_{31\cdot43}$
	個人所得	32									$a_{32\cdot41}$	—	$a_{32\cdot43}$
	地方税	33									$a_{33\cdot41}$	$a_{33\cdot42}$	$a_{33\cdot43}$
	社会的費用	34									$a_{34\cdot41}$	$a_{34\cdot42}$	$a_{34\cdot43}$

$x_{25 \cdot 33}$: 「地方税」へのフロー

③ 第3段階 福祉状態を形成する。

〔指標31 レジャー活動費〕

レジャー活動が盛んになることにより、健康が増進する。

$x_{31 \cdot 43}$: 「健康(平均寿命)」へのフロー

〔指標32 個人所得〕

個人所得は経済的な豊かさを表わす。個人所得からのフローは豊かさ(持ち家数)、健康(平均寿命)へのフローが評価される。

$x_{32 \cdot 41}$: 「豊かさ」へのフロー

$x_{32 \cdot 43}$: 「健康」へのフロー

〔指標33 地方税〕

地方税の充実により、福祉は維持される。

$x_{33 \cdot 41}$: 「豊かさ」へのフロー

$x_{33 \cdot 42}$: 「快適性」へのフロー

$x_{33 \cdot 43}$: 「健康」へのフロー

〔指標34 社会的費用〕

社会的費用の増加により、福祉は影響される。

$x_{34 \cdot 41}$: 「豊かさ」へのフロー

$x_{34 \cdot 42}$: 「快適性」へのフロー

$x_{34 \cdot 43}$: 「健康」へのフロー

④ 福祉状態の形成

〔指標41 豊かさ〕

人間の生活の豊かさは、持ち家数により評価される。

〔指標42 快適性〕

生活環境の快適性は下水道普及率によって評価される。

〔指標43 健康〕

人間の健康状態は平均寿命によって評価される。

(3) 計量モデルの構築

① モデルの要素

a. 変数 X_i, x_{ij}

それぞれ指標値, フローの大きさを表わす。

b. 効果係数 a_{ij}

これは変数が互いに影響を及ぼす率を表わす投入係数であり、意味するところは当該経済・社会に存在する広い意味での「技術的変数」の度合いである。したがって、

その種類によっては具体的意味と値をもつものもあるが、現在の状況に関する知識と将来の諸条件に関する推定に基づいて計画策定過程のなかで決定される。

② 計量モデル

〔第1段階〕

直接効果は、次のようになる。なお、 D は直接効果行列、 D^T は D の転置行列を表わす。

$$D^T A = S \quad \dots\dots\dots (3-2-12)$$

ただし、 A ：効果係数行列

S ：消費行列

〔第2段階〕

生活水準向上の測定は、次のようになる。

$$S^T B = L \quad \dots\dots\dots (3-2-13)$$

ただし、 B ：効果係数行列

L ：生活水準行列

〔第3段階〕

福祉状態への寄与度は、次のようになる。

$$L^T C = W \quad \dots\dots\dots (3-2-14)$$

ただし、 C ：効果係数行列

W ：福祉状態行列

(4) モデルの要素の値の決定

効果係数行列 A , B , C および 直接効果行列 D が決定されれば、福祉状態行列 W を求めることができる。そこで本節では、各効果係数行列 a_{ij} について以下のように検討した。ただし、消費については省略する。

- ① 道路資本の投資については、原単位法による。
- ② 走行時間の節約、周辺交通走行時間の節約については、時間評価値(円/分)を用いる。
- ③ 走行費用の節約は、レジャー活動費に単純に加算されるものとする。
- ④ 上記以外の効果係数は、回帰分析によってその値を求める。

(5) 評価関数

いくつかの代替案を評価しようとする場合、指標固有のタームで表わされたそれぞれの数値を用いて総合的に判断するためには、指標を指標指数に変換して行う必要がある。そのた

めの方法がいくつか提案されている²¹⁾が、ここでは適切な指標指数を設定した。

3-3 重み順位法による代替案の総合評価

(1) 道路新線建設計画への適用例

図3-3-1に示すような3つの道路新線建設計画代替案を考えて福祉向上の観点からこれらの代替案を評価する。対象地域として近畿圏の滋賀、京都、大阪、兵庫、奈良、和歌山の6府県を想定した。

(2) 波及効果係数の決定

想定した6府県の統計を用いて波及効果係数の値を求めた。統計資料の出典および資料として採用した年度を表3-3-1に示す。統計の数値は資料中該当する項目よりそのままの形で引用した。

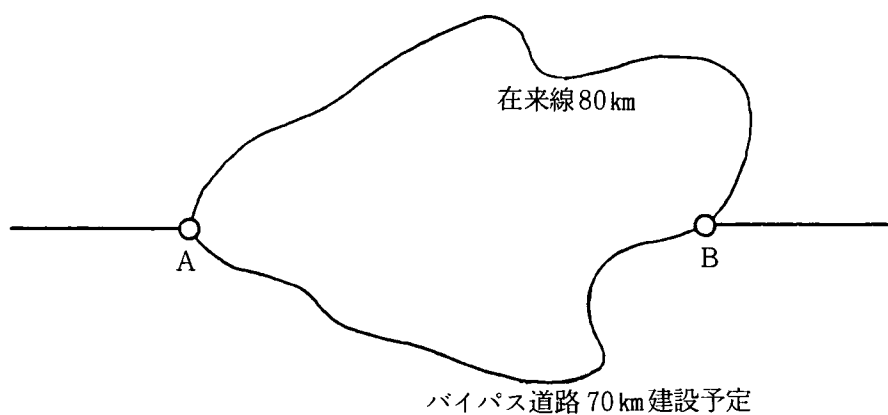
表3-3-1 資料・参考文献一覧

資 料 名	調 査 項 目	出 所
道 路 資 本	発注者・府県別の工事種別 公共工事着工高	公共工事着工統計年度報 昭和43年～昭和51年
走 行 費 用	自動車交通における費用計測例	道路交通データブック
交通量分布パターン	交通量分布パターン	道路交通データブック
大 気 汚 染	大気汚染濃度 －1世帯当たり被害額	公害による経済被害調査結果報告書 ¹⁾ 、大気汚染からみた街路と高速道路の交通分担 ²⁾
生 産 額 増 加	県民所得－県内純生産	日本統計年鑑 昭和45年～昭和54年
家 計 支 出 消 費	1世帯当たり1カ月間の収入と支出（勤労者世帯）	家計調査年報 1968年～1976年
個 人 所 得	県民個人所得	民 力 1970年～1979年
地 方 税	地方財政－地方税収入額	民 力 1970年～1978年
社 会 的 費 用	1世帯当たり1カ月間の収入と支出（勤労者世帯）	家計調査年報 1968年～1976年
持 ち 家 数	府県別着工住宅	日本統計年鑑 昭和44年～昭和53年
下 水 道 普 及 率	下水道普及率	日本統計年鑑 昭和45年～昭和54年
平 均 寿 命	平 均 寿 命	第13回生命表 昭和45年 第14回生命表 昭和50年 他は簡易生命表 昭和43年～昭和51年

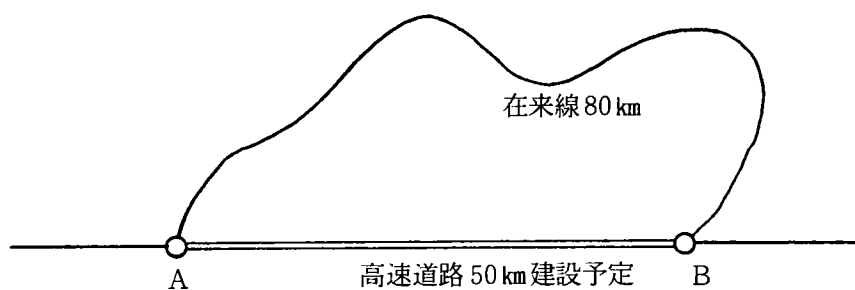
(注) 1) 大阪市環境保健局環境部 昭和49年2月

2) 文部省科学研究費 一般研究(C) 研究成果報告書 昭和51, 52年度, 昭和53年3月

<代替案 1>



<代替案 2>



<代替案 3>

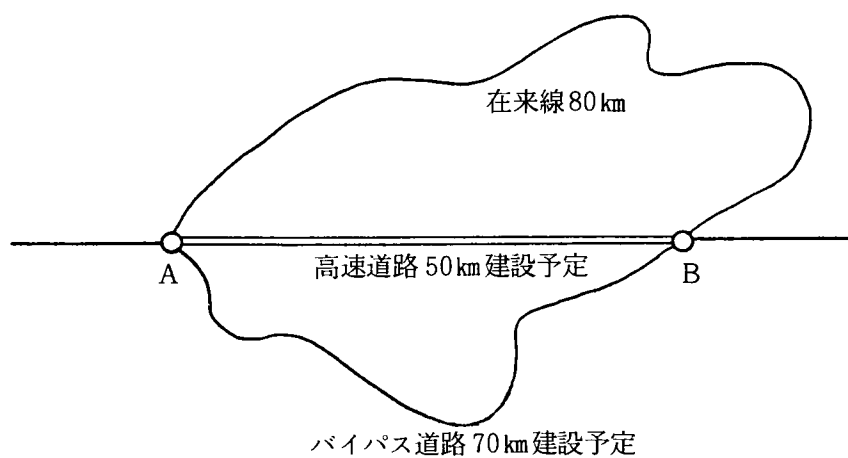


図 3-3-1 道路新線建設計画における代替案

波及効果係数の設定は、以下の方法による。なお、波及効果係数の左の添字は入力項目を、右の添字は出力の項目を示す。

$a_{1\cdot1}$, $a_{1\cdot25}$: 道路資本に対するその他の道路資本および生産額増加の回帰として回帰分析により求めた。

$a_{21\cdot31}$, $a_{21\cdot32}$, $a_{23\cdot31}$: いずれも時間を取り扱ったものであり、時間評価値に等しい。

$a_{22\cdot31}$: 節約される費用は形を崩さぬまま使用目的を変えるものと考え、単純加算した。

$a_{24\cdot34}$: 大気汚染に対する社会的費用の回帰として回帰分析により求めた。

$a_{25\cdot32}$, $a_{25\cdot33}$: 生産額増加に対する個人所得および地方税の回帰として回帰分析により求めた。

$a_{32\cdot41}$, $a_{33\cdot41}$, $a_{34\cdot41}$: 個人所得、地方税、社会的費用に対する持ち家数の回帰として重回帰分析により求めた。

$a_{33\cdot42}$, $a_{34\cdot42}$: 地方税、社会的費用に対する下水道普及率の回帰として重回帰分析により求めた。

$a_{31\cdot43}$, $a_{32\cdot43}$, $a_{33\cdot43}$, $a_{34\cdot43}$: レジャー活動費、個人所得、地方税、社会的費用に対する平均寿命の回帰として重回帰分析により求めた。

以上の方法により求めた波及効果係数は表 3-3-2 に示すとおりである。

(3) 直接効果の測定

表 3-3-3 ~ 7 の交通条件のもとで代替案 1 ~ 3 を評価する。高速道路の建設費は 7,500 億円、バイパス道路は 6,000 億円とし、サービス・ライフはいずれも 50 年、社会的割引率は 5 % とする。便益の計算は 1 年単位で行う。

建設費用は毎年等価の投資に換算する。

すなわち、

$$R = P \cdot \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \dots\dots\dots (3-3-1)$$

ただし、 R : 毎年等価の価格 (億円)

P : 現在価格 (億円)

i : 社会的割引率

n : サービス・ライフ (年)

これより、高速道路 475.83 億円/年、バイパス道路 380.67 億円/年となる。

走行費、走行時間の節約については、費用便益分析を用いて計測するが、計測方法は文献 8) に基づいて行った。結果は表 3-3-8 に示す。また、大気中の NOx 濃度の増加量は表

表 3-3-2 波及効果係数表

	係数	分析法等	波及効果係数	相関係数
蓄 積	$a_{1 \cdot 1}$	回 帰 分 析	1.91365	$r = 0.95196$
消 費	$a_{1 \cdot 25}$	回 帰 分 析	5.14331	$r = 0.93215$
	$a_{21 \cdot 31}$	時間評価値	2822.0	—
	$a_{21 \cdot 32}$	時間評価値	2822.0	—
	$a_{22 \cdot 31}$	単 純 加 算	1	—
	$a_{23 \cdot 31}$	時間評価値	2822.0	—
	$a_{24 \cdot 34}$	回 帰 分 析	2798.0	$r = 0.59578$
	$a_{25 \cdot 32}$	回 帰 分 析	0.10441	$r = 0.99030$
	$a_{25 \cdot 33}$	回 帰 分 析	0.30811	$r = 0.98548$
生活水準	$a_{31 \cdot 43}$	回 帰 分 析	0.000159	$r = 0.93900$
	$a_{32 \cdot 41}$	回 帰 分 析	1.78430	$r = 0.55559$
	$a_{32 \cdot 43}$	回 帰 分 析	0.000036	$r = 0.95544$
	$a_{33 \cdot 41}$	回 帰 分 析	0.005178	$r = 0.63097$
	$a_{33 \cdot 42}$	回 帰 分 析	0.80010	$r = 0.81650$
	$a_{33 \cdot 43}$	回 帰 分 析	-0.00001	$r = -0.95268$
	$a_{34 \cdot 41}$	回 帰 分 析	-0.31172	$r = -0.53778$
	$a_{34 \cdot 42}$	回 帰 分 析	-0.00032	$r = -0.80223$
	$a_{34 \cdot 43}$	回 帰 分 析	-0.00105	$r = -0.95039$

表 3-3-3 対象地域の交通すう勢

(単位:台/日)

	建設なし	代替案 1 (バイパス道路建設)		代替案 2 (高速道路建設)		代替案 3 (バイパス, 高速道路建設)		
	在 来 線	在 来 線	バイパス	在 来 線	高速道路	在 来 線	バイパス	高速道路
現 在	30,000	30,000		30,000		30,000		
10年後	50,000	25,000	25,000	30,000	20,000	17,000	17,000	16,000

表 3-3-4 走行速度, 走行費用の設定

		在 来 線	バイパス道路	高 速 道 路
道 路 延 長 (km)		80	70	50
平均速度 (km/h)	8 a.m. ~ 7 p.m.	(建設前) 30 (建設後) 35	35	60
	7 p.m. ~ 8 a.m.	(建設前) 40 (建設後) 45	45	80
走行費用 (円/台・km)	小 型 車	71.2	71.2	48.8
	大 型 車	156.6	156.6	110.2

表 3-3-5 交通内容

	小 型 車	大 型 車
車 種	70%	30%

表 3-3-7 NOx 車種別排出係数(一般道路)

	速度 (km/h)	NOx 排出係数 (g/台・km)
小型車	30	0.79
	35	0.77
	40	0.76
	45	0.75
	50	0.74
大型車	30	3.31
	35	3.25
	40	3.22
	45	3.18
	50	3.15

表 3-3-6 NOx 車種別排出係数(高速道路)

	速度 (km/h)	NOx 排出係数 (g/台・km)
小型車	60	0.73
	80	1.18
大型車	60	3.12
	80	3.48

表 3-3-8 走行費, 走行時間, 周辺交通走行時間の節約

	車 種	走行費の節約(億円/年)	走行時間の節約 (百万時間/年)	周辺交通走行時間の節約 (百万時間/年)
代替案 1	小型車	45.5	3.78	2.08
	大型車	42.9	1.61	0.89
	計	88.4	5.39	2.97
代替案 2	小型車	34.4	8.59	2.49
	大型車	30.5	3.68	1.07
	計	64.9	12.27	3.56
代替案 3	小型車	58.4	9.42	1.41
	大型車	53.5	4.04	0.61
	計	111.9	13.46	2.02

表 3-3-9 NOx 排出量増加, NOx 大気中増加濃度

	NOx 排出量 (kg/日・km)	NOx 濃 度 (hppm)
代替案 1	- 1.3	- 0.4330
代替案 2	0.2	0.0067
代替案 3	± 0.0	± 0.0000

3-3-9に示す。

以上で得られた諸数値を波及効果係数により各指標のレベルを求めることができ、これらを表3-3-10~15に示す。表3-3-10~12は各指標の流入レベルを、また表3-3-13~15は各指標の流出レベルを表わす。

(4) 代替案の総合評価

ここでは、得られた結果に基づいて代替案の総合評価を行う。その手法としてPaelinckにより開発された重み順位法(Permutation法)²⁴⁾を出発点とした。この方法の基本的な考え方は、検討すべき評価項目を順次入れ換えを行いながら、また、評価項目に付与すべき重みを序数的に与えながら、代替案間の相対的な優位性の変化をみることにより最適代替案の頑強性を検討するものである。

この方法の概要は、以下のとおりである。

代替案 a_j ($j = 1, 2, \dots, n$) と評価項目 i ($i = 1, 2, \dots, m$) とが与えられると、評価項目を各評価項目に対する重み (w_i) の大きさの順序に並べる。ただし、重みの総和は1である。そして、可能な代替案の選好順序の組合せ $n!$ 通りについて次の仮説テストを行う。すなわち、2つの代替案 a_j と a_k との比較を行い、以下に示す基準に従って得点を与える。

〔基準〕 仮説 $a_j \succ a_k$ が成立しているとする。なお記号 \succ は選好を意味する。

$$\left. \begin{array}{ll} \text{もし } x_{ij} > x_{ik} \text{ ならば, } +1 \\ \text{もし } x_{ij} < x_{ik} \text{ ならば, } -1 \\ \text{もし } x_{ij} = x_{ik} \text{ ならば, } 0 \end{array} \right\} \dots\dots\dots (3-3-2)$$

以上の基準に従って順位得点を、代替案の各組合せに対して求める。そして、各評価項目の重みの組合せを変化させながら、優位な代替案を探す。

以上の方法を本例題に適用するが、計算アルゴリズムにおいて評価項目の重みを順次系統的に変化させるように改良した。

まず、代替案の選好順序の組合せは表3-3-16に示すとおりである。この表と式(3-3-2)の基準とに基づいて求めた得点表は、表3-3-17に示すとおりである。次に、重みの組合せ (w_1, w_2, w_3) を図3-3-2に示すように変化させ、優位な代替案の組合せの領域を求めたものが図3-3-3である。この図では、端点、頂角の2等分線と辺との交点、および重心点における優位な代替案の組合せを示しているが、もちろん三角形の内部の各領域についても優位な代替案を示しており、端点、交点および重心点における優位な代替案の組合せのうち、共通するものが、やはりその領域内において優位な代替案の組合せとなる。

表 3-3-3-10 代替案 1 の指標の流入レベル

受け取る活動		蓄積	消費			費用			生活水準			福祉			状態	
			その他の	走行時間の節約	走行費用の節約	周辺交通走行時間の節約	大気汚染	生産額増	レジャー活動費	個人所得	地方税	社会的費用	豊かさ(待ち家数)	快適性(下水道普及率)	健康(平均寿命)	浪費
寄与する活動		1	21	22	23	24	25	31	32	33	34	41	42	43	0	
生産	道路資本(億円)	1	380.7	—	—	—	380.7									
消費	走行時間の節約(百万時間/年)	21						5.39	5.39	—	—					
	走行費用の節約(億円/年)	22						88.4	—	—	—					
	周辺交通走行時間の節約(百万時間/年)	23						2.97	—	—	—					
	大気汚染(hppm)	24						—	—	—	-0.6495					
	生産額増加(億円)	25						—	19.58	19.58	—					
生活水準	レジャー活動費(億円)	31										—	—	324.3		
	個人所得(億円)	32										356.1	—	356.1		
	地方税(億円)	33										6.3	6.3	6.3		
	社会的費用(円/世帯)	34										-1,818	-1,818	-1,818		
福祉状態	豊かさ(持ち家数)	41														
	快適性(下水道普及率)	42														
	健康(平均寿命)	43														

表 3-3-11 代替案 2 の指標の流入レベル

受け取る活動	蓄積	消費				生活水準				福祉状態			
		その他の	走行時間	走行費用	周辺交通	生産額	レジャー	個人所得	地方税	社会的	豊かさ	快適性	健康
寄与する活動	道路資本	道路資本	走行時間の節約	走行時間の節約	走行時間の節約	増大気汚染	活動費	税	費用	(待ち)	(下水道)	(平均)	浪費
		1	21	22	23	24	31	32	33	34	41	42	43
生産	1	457.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
消費	21						12.27	12.27	—	—	—	—	—
	22						64.8	—	—	—	—	—	—
	23						3.56	—	—	—	—	—	—
	24						—	—	—	0.0101	—	—	—
	25						—	24.47	24.47	—	—	—	—
生活水準	31										—	—	548.7
	32										839.8	—	839.8
	33										14.2	14.2	14.2
	34										0	0	0
福祉状態	41												
	42												
	43												

表 3-3-12 代替案 3 の指標の流入レベル

受ける活動			蓄積	消費			生活水準			福祉			状態				
				その他の	走行時間	走行費用	周辺交通	大気汚染	生産額	レジャー	個人所得	地方税		社会的	豊かさ	快適性	健康
寄与する活動			道路資本	1	21	22	23	24	25	31	32	33	34	41	42	43	費用
生産	道路資本	(億円)	1	856.5	—	—	—	—	856.5								
消費	走行時間の節約	(百万時間/年)	21							13.46	13.46	—	—				
	走行費用の節約	(億円/年)	22							111.93	—	—	—				
	周辺交通走行時間の節約	(百万時間/年)	23							2.02	—	—	—				
	大気汚染	(hppm)	24							—	—	—	0				
生活	生産額増加	(億円)	25							—	44.05	44.05	—				
	レジャー活動費	(億円)	31											—	—	548.7	
水準	個人所得	(億円)	32											839.8	—	839.8	
	地方税	(億円)	33											14.2	14.2	14.2	
福祉	社会的費用	(円/世帯)	34											0	0	0	
	豊かさ	(持ち家数)	41														
状態	快適性	(下水道普及率)	42														
	健康	(平均寿命)	43														

表 3-3-3-13 代替案 1 の指標の流出レベル

受け取る活動	蓄積	消費				費用			生活水準			福祉		状態
		その他の 道路資本 (億円)	走行時間 の節約 (百万時間)	走行費用 の節約 (億円)	周辺交通 走行時間 の節約 (百万時間)	大気汚染 (hppm)	生産額 増 (億円)	レジャー 活動費 (億円)	個人所得 (億円)	地方税 (億円)	社会的 費用 (円/世帯)	豊かさ (持ち家数 (戸))	快適性 (下水道 普及率 (%))	
寄与する活動	1	21	22	23	24	25	31	32	33	34	41	42	43	0
	生産	7.29	—	—	—	19.58								
	消費						152.1							
	費用						88.4							
	交通 走行時間 の節約						83.8							
	大気汚染						—				-1,818			
	生産額増加						—	204	6.3					
	レジャー活動費											—	—	0.516
	個人所得											635	—	0.013
	地方税											326	5.04	0
社会的費用											567	0.585	1.909	
豊かさ (持ち家数)														
快適性 (下水道普及率)														
健康 (平均寿命)														
	7.29	—	—	—	—	19.58	324.3	356.1	6.3	-1,818	1,528	5.43	2.425	

表 3-3-14 代替案 2 の指標の流出レベル

受ける活動 ／ 寄与する活動	蓄積 その他の 道路資本 (億円)	消費			費用			生活水準			福祉			状態
		走行時間 の節約 (百万時間)	走行費用 の節約 (億円)	周辺交通 走行時間 の節約 (百万時間)	大気汚染 (hppm)	生産額 増 (億円)	レジャー 活動費 (億円)	個人所得 (億円)	地方税 (億円)	社会的 費用 (円/世帯)	豊かさ (持ち家数 (戸))	快適性 (下水道 普及率 (%))	健康 (平均寿命 (年))	
		21	22	23	24	25	31	32	33	34	41	42	43	
生産	1	—	—	—	—	24.47	—	—	—	—	—	—	—	—
消費	道路資本	1	1.91	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	走行時間の節約	21	—	—	—	—	346.3	346.3	—	—	—	—	—	—
	走行費用の節約	22	—	—	—	—	64.8	—	—	—	—	—	—	—
	周辺交通 走行時間 の節約	23	—	—	—	—	100.5	—	—	—	—	—	—	—
	大気汚染	24	—	—	—	—	—	—	—	28.1	—	—	—	—
生活水準	生産額増加	25	—	—	—	—	—	255	7.9	—	—	—	—	—
	レジャー活動費	31	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.813	—
	個人所得	32	—	—	—	—	—	—	—	—	1,073	—	0.022	—
	地方税	33	—	—	—	—	—	—	—	—	408	6.30	0	—
	社会的費用	34	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
福祉状態	豊かさ (持ち家数)	41	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	社 快 適性 (下水道普及率)	42	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	健康 (平均寿命)	43	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		1.91	—	—	—	24.47	511.6	601.3	7.9	28.1	1,472	6.28	0.801	

表 3-3-3-15 代替案 3 の指標の流出レベル

受け取る活動	蓄積 その他の 道路資本 (億円)	消費			費用			生活水準			福祉			状態
		走行時間の節約 (百万時間)	走行時間の節約 (億円)	周辺交通 走行時間の節約 (百万時間)	大気汚染 (hppm)	生産額 増加 (億円)	レジャー 活動費 (億円)	個人所得 (億円)	地方税 (億円)	社会的 費用 (円/世帯)	豊かさ (持ち家数 (戸))	快適性 (下水道 普及率 (%))	健康 (平均寿命 (年))	
寄与する活動	1	21	22	23	24	25	31	32	33	34	41	42	43	0
	生産 道路資本 1	—	—	—	—	44.05								
	21						379.8	379.8	—	—				
消費	22						111.9	—	—	—				
	23						57.0	—	—	—				
	24						—	—	—	0				
費用	25						—	460	14.2	—				
	31										—	—	0.872	
	32										1,498	—	0.030	
生活水準	33										819	11.3	0	
	34										0	0	0	
	41													
福祉状態	42													
	43													
	16.39	—	—	—	—	44.05	548.7	839.8	14.2	0	2,317	11.3	0.902	

表 3-3-16
選好順序による代替案の組合せ

順位づけ	選 好 順 序
R_1	$a_1 \succ a_2 \succ a_3$
R_2	$a_1 \succ a_3 \succ a_2$
R_3	$a_2 \succ a_1 \succ a_3$
R_4	$a_2 \succ a_3 \succ a_1$
R_5	$a_3 \succ a_1 \succ a_2$
R_6	$a_3 \succ a_2 \succ a_1$

表 3-3-17 得 点 表

重みの順位	評 価 項 目	順位づけされた代替案の組合せ					
		R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6
w_1	豊 か さ (持ち家数)	-1	+1	-3	-1	+3	+1
w_2	快 適 性 (下水道普及率)	-3	-1	-1	+1	+1	+3
w_3	健 康 (平均寿命)	+1	+3	-1	-3	+1	+1

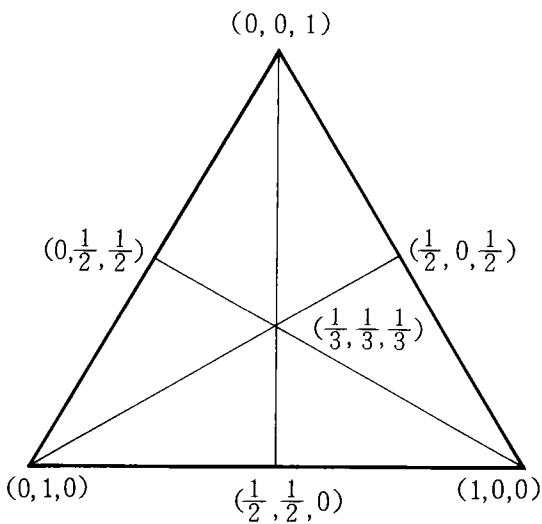


図 3-3-2 重みの三角形

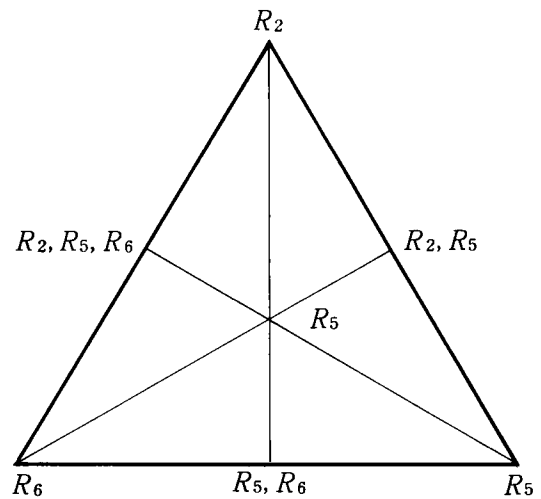


図 3-3-3 優位な代替案の組合せの領域

以上の結果、 w_1, w_2, w_3 をそれぞれ豊かさ(持ち家数)、快適性(下水道普及率)、健康(平均寿命)の重みとすると、

$$w_3 > \frac{1}{2}$$

の場合、代替案1が最適で、それ以下のすべての場合は、代替案3が最適となる。ただし、

$$w_1 + w_2 + w_3 = 1 \quad \dots\dots\dots (3-3-3)$$

また、 $w_3 = \frac{1}{2}$ のときは、代替案1もしくは代替案3が最適となる。

そこで、重みがすべて等しい場合 ($w_1 = w_2 = w_3 = \frac{1}{3}$) の場合を考えれば、代替案3、代替案1、代替案2となる。

次に、重みの三角形に占める領域の大きさから優位な代替案の組合せをみると、 R_5 の代替案の組合せが最も大きくなり、 R_2 および R_6 の代替案の組合せは同じ大きさとなっている。この情報を利用する1人の意思決定者にとっては、 R_5 による優位な代替案の組合せから代替案3を最適なものとして選定するのが最良であると考えられる。

ところで、すべての重みが等しい場合、代替案3が選ばれたが、代替案3は、バイパス道路の効果と高速道路の効果とが相乗し、最適なものとなったと考えられる。そのため、相乗効果がない場合、すなわちバイパス道路と高速道路との場合に限った代替案1と代替案2について、さらに考察する。

そこで、社会的費用の考慮が代替案の選定にどのように影響を及ぼすかを調べるために、社会的費用を考慮した場合とそうでない場合とについて、各評価項目の指標値を算出した。その結果は表3-3-18に示すとおりである。

もし社会的費用を考慮しなければ、豊かさ(持ち家数)、快適性(下水道普及率)、健康(平均寿命)の3評価項目は、代替案1よりも代替案2が優位となる。

しかしながら、社会的費用を考慮した場合、代替案2よりも代替案1が優位となり、逆転することになる。これは、代替案2の方が代替案1の場合よりも社会的費用の影響が大きい

表3-3-18 「社会的費用」項目による代替案の比較

評価項目	代替案	「社会的費用」項目を考慮しなかった場合	「社会的費用」項目を考慮した場合
豊かさ (持ち家数) (戸)	1	961	1,528
	2	1,481	1,472
	3	2,317	2,317
快適性 (下水道普及率) (%)	1	5.04	5.43
	2	6.30	6.28
	3	11.30	11.30
健康 (平均寿命) (年)	1	0.529	2.425
	2	0.835	0.801
	3	0.902	0.902

からであると考えられる。

以上の諸検討の結果、代替案3が最適代替案として選ばれるが、建設費などの制約条件を考慮すれば、代替案3よりも代替案1、または代替案2が選ばれることになる。つまり、本適用例では、バイパス道路、または高速道路のいずれか一方を建設することがよいことを示していると言えよう。

(5) 総合評価の考察

3-2-5で述べた改良前のモデルでは、マイナス要因が含まれていないために、各代替案に適用すれば、建設費が多く、走行費、走行費用の節約が行われるほど、3評価項目の数値が大きくなる傾向がみられた。したがって、排気ガスによる健康への影響など社会的費用を必要とする多くの要因を適切に評価していないために、開発を推進する根拠を提供し、適切でない道路投資を促進するおそれがある。本研究では、社会的費用を考慮した結果、3評価項目の数値は一概には正比例して大きくならないことが示された。また、これにより、代替案の総合評価と選定がより説得性をもつこととなった。

3-4 結 語

従来の土木事業の効果測定では、計測可能な評価項目について個別評価か、もしくは経済効果、さらに、効用関数を用いる総合評価がそのおもなものであった。

土木事業の本来の目的は、豊かさ、健康、快適性(アメニティ)といった福祉水準を高めることにある。

このような水準は、何らかの指標をもって代表させることができて、将来値の測定が困難であり、意思決定者が1人の場合でもその恣意に委ねられがちとなる。

また、これらの福祉効果は、土木施設の供用という技術的效果、さらにそれから産出される経済効果と無関係でない。

本章では、このような不確実性に富む指標と効果について、より客観的に評価しうるような方法論を提示した。また、定量化が困難な評価項目の重みについては序数尺度法を導入し、不確実性の除去をはかった。

事例として道路の新線建設計画問題を取り扱ったが、この例では従来の研究では取り扱うことがなかった不確実な項目としての福祉効果を評価する方法を示した。さらに社会的費用を指標として取り入れることにより、プラス・マイナス両側面から道路建設の福祉に与える効果を計測し、これに重み順位法を用いて新線選定の総合評価と代替案を決めるモデルを提案した。その結果、次のことが明らかにされた。

本モデルの適用により、従来の道路建設投資における経済効果に加えて、福祉効果の概念

を導入することによって、これまでの総合評価よりも説得性のある総合評価が可能となった。

また、本モデルは社会的費用という道路の経済効果のうちマイナスの指標を福祉測定に用いたことは、一定の有効性があることが示された。そして、この手法は、他の土木施設計画への適用を可能にする汎用性をもっていることも示された。

しかしながら、本モデルでは本研究のような目的で収集されていない資料の不備のため、フローを完全な形でとらえることができず、そのようなフローについての厳密解を省略したため、実用に耐えうる道路の社会に及ぼす効果を把握できていない。したがって近似的な解しか得られていないが、福祉効果評価の可能性は示している。

また、各指標値は独立ではなく、互いに相関のあるものによって各レベルの数値を示している可能性があるなどの問題も残されている。したがって、この道路新線建設計画代替案の総合評価に関する適用例については、ここで得られた結論についてさらに感度分析を行って、より一般的な適用を可能にしなければならないことがいえる。しかし、ここで示した方法論の有用性はそれによって損われるものではないと教える。

第3章 参考文献

- 1) F. Quesnay 著, 戸田正雄・増井健一訳: 経済表, 岩波文庫, 1979年.
- 2) 宮沢健一: 国民所得理論, 経済学全集11, 筑摩書房, 1976年.
- 3) W. Leontief 著, 新飯田宏訳: 産業連関分析, 岩波書店, 1966年.
- 4) 五十嵐日出夫ほか: 計画論, 土木工学大系12, 彰国社, 昭和52年.
- 5) 経済企画庁国民所得部編: 新 SNA 入門, 東洋経済新報社, 1979年.
- 6) 経済審議会 NNW開発委員会編: 新しい福祉指標 NNW, 大蔵省印刷局, 昭和48年.
- 7) 平山裕次: 豊かさを測る, 日経新書, 1976年.
- 8) 佐々木恒一・河野博忠・蔵下勝行: 道路の経済効果と投資基準, 技術書院, 1965年.
- 9) 天野光三・藤田昌久: 交通施設整備による地域構造の変動分析モデルに関する研究, 昭和43年8月.
- 10) 経済企画庁余暇開発室編: 余暇社会への構図, 大蔵省印刷局, 昭和48年.
- 11) OECD Environment Committee: Urban Environmental Indicators, OECD, 1978.
- 12) OECD Manpower and Social Affairs Committee: Measures of Leisure Equality and Welfare, OECD, 1978.
- 13) OECD Manpower and Social Affairs Committee: 1976 Progress Report on Phase II, Plan for Future Activities, OECD, 1977.
- 14) Portugal, A. H.: Towards the Measurement of Work Satisfaction, OECD, 1976.

- 15) OECD Manpower and Social Affairs Committee : List of Social Concerns, OECD, 1973.
- 16) OECD Manpower and Social Affairs Committee : Approaches to the Development of Health Indicators, OECD, 1976.
- 17) OECD Manpower and Social Affairs Committee : Data Sources for Social Indicators of Victimization suffered by Individuals, OECD, 1976.
- 18) OECD Manpower and Social Affairs Committee : Basic Disaggregations of Main Social Indicators, OECD, 1977.
- 19) OECD Manpower and Social Affairs Committee : Subjective Elements of Well-being, OECD, 1974.
- 20) OECD Manpower and Social Affairs Committee : Measuring Social Well-being, OECD, 1976.
- 21) J. Drewnowski 著, 阪本靖郎訳 : 福祉の測定と計画, 日本評論社, 1977 年.
- 22) 東京都 : 二基準点方式による福祉指標作成のころみ, 昭和47年7月.
- 23) 若井郁次郎・菅原章文 : 交通施設計画の経済・社会インパクトの予測について, 第7回環境問題シンポジウム講演論文集, pp. 19～24, 1979年8月.
- 24) Paelinck, J. H. P. : Qualitative Multicriteria Analysis : An Application to Airport Location, Environment Planning A, Vol. 9, pp. 883～895, 1977.
- 25) 建設省近畿地方建設局 : 総合評価手法に関する文献・資料, 昭和53年10月.
- 26) 若井郁次郎 : 環境影響評価の不確実性, 第14回土木計画学シンポジウム, pp. 103～115, 昭和55年11月.

第4章 複数の評価者の存在を考慮した場合の不確実性下の代替案の総合評価——代替案が明示できない場合——

4-1 概 説

本章では、港湾・道路等の土木施設計画を総合評価問題として認識するとともに、計画主体によって実行可能な有限個の代替案が用意され、これが有限個の評価項目によって仮想的に複数の評価者によって総合評価されるとしたときの問題を取り扱う。この場合、土木計画代替案の出され方で評価者が代替案に基づいて都合の悪い評価項目に低い評価点を与えとする。これを「予想もしない最悪の重みづけ—LFW(Least Favourable Weight Criterion)—のもとで総合評価された」と名付ける。この仮定は、1つの代替案が出されると、都合の悪い代替案と感じた評価者が総合評価値を悪くするため、低い評価値をもつ評価項目に過大の重みをかけることが多いという事例からこういう仮定を設けた。この評価項目の重みが代替案の出され方で、異なった評価主体の内部でゆれ動く点に着目し、これが計画主体と評価主体との間の零和2人ゲーム問題として教えられることから一つのモデルを提案することにする。

さらに、この概念を導入したLFW法に基づいて、本章で取り扱う土木計画代替案の総合評価問題を整理し、LFW法による代替案選択法を定式化する。また、定式化されたモデルを用いて水資源計画および道路計画に適用し、本方法の有効性と実用性について検討を行う。

4-2 代替案総合評価の問題認識と零和2人ゲーム理論の適用

4-2-1 はじめに

純便益最大、環境制約を考慮に入れた費用最小化問題というような単一目的評価問題としてでなく、港湾・道路等の土木施設計画を総合評価問題として認識することが要請されている。実際、土木施設計画は、自然、社会、経済および環境への影響が大きく、また相互に関連し合っている。一般には、前章までに述べたように影響範囲を限定して、評価要因を探索列挙し、さらに、属性、すなわち評価項目、評価指標を選択する。そして、計測された指標の値、すなわち指標値と、外生的に与えられた基準値と対照させたり、あるいは、評点、貨幣値もしくは効用値等評価値に変換して、さらに計画を総合的に評価する。この作業過程では、項目の列挙もれ、指標値の計測誤差、評価基準の個人差等の要因に基づく不確実性が混入する。この不確実性の処理としては、評価指標値の計測精度を高め、また総合評価への影響の多い評価項目の列挙もれがないこと、評価項目間の独立性が保持される等を確かめ、信頼性を高める一方、不確実性に対する感度分析を行ったり、弾力性をもった計画代替案を作

る等の方法がとられている。

本研究では、計画主体によって実行可能な有限個の代替案が用意され、これが有限個の評価項目によって潜在的に存在する複数の評価者によって総合評価されるとした場合の問題を扱う。評価項目の列挙、各評価項目の評価値が、各代替案に対して与件として与えられていても、この評価値を元にして得られた各代替案の総合評価値が、評価者によって異なることがある。これは、各評価者が提示された代替案について、評価項目の重みをそれぞれの立場から異なって付与するためと考える。このとき、計画主体は総合評価値の大きい代替案を提案したく思うが、評価者のいずれかは自分にとって好ましくない代替案を否定しようとして総合評価値を小さくしようと行動する。

本研究では、この点に着目して、評価者を全体（これを評価主体という）として考えたとき、代替案の出され方で評価項目の重みが評価主体の内部でゆれ動くものと仮定し、これを計画主体と評価主体との間の零和2人ゲーム問題と認識した。なお、効用値等の評価値の求め方については、今後の課題とすべき点もあるが、4-2-2で述べるように効用理論等により評価指標値からこの評価値を求めることが開発されている¹⁰⁾。したがって、本研究では深くこの問題に立ち入らない。

この場合、評価値は評価者によって変わらないとしている。これは、ある評価項目に関心をもつ、あるいは専門的知識を有する評価者によって評価値が付与されたとき、これが評価主体のつけた値であり、これを計画主体の評価値とする暗黙の仮定をおいていることになる。これは、学校教育の場において各教官が行う科目の評価が教官全体、すなわち当該校の評価になることと同じ考え方である。

4-2-2 土木施設計画の問題点の認識

4-2-1で述べたような研究の始められた動機は、わが国での土木施設計画が、基本計画段階で次のような状態におかれていることが多いと認識したことから生じた。これは本研究で提案する方法論の前提条件の根拠ともなる。

1) 費用最小というような単一目的指向型の計画法では、一般の人々には受け入れられがたい。

2) いくつかの連続的な計画変数を操作して、多目的問題を最適化しようとするモデル同定は、現実的でない仮定を導入しない限り困難である。したがって、実行可能ないくつかの代替案を用意して、そのなかで、より良いものを選択する問題として取り扱うことが実際的であることが多い。

3) 計画主体は、複数の評価者の存在を意識して、複数の目的によって構成される公共の福祉の増大を意図する。しかし、一般に、普遍的な公共福祉関数を明示することは困難であ

る^{5), 6)}。目的はそれぞれ評価する項目をもっている。これを列挙し、この項目をもつことについて各評価者間、少なくとも専門家の間で合意を得ることは可能な場合が多い。異なった評価者の関心の深い項目の指標について各代替案間の優劣を評価するため、指標値を求めることも可能である。これは、比例尺度、間隔尺度のほか、序数尺度で与えられる。若干の不確実性は混入する。

4) 3) の指標値に対して、なんらかの基準で共通に評価するため、貨幣尺度のほか効用値、評点などの無次元評価値をもとめることができる¹⁰⁾。一般に各評価者間ではこの評価値は異なる。しかし、同一評価者グループではその評価値の変動はかなり小さいという仮定は許される。

5) 各代替案は、各評価者によって選好される。しかし、どの評価項目にどのような重みづけがなされて、どのような選好がなされたかは計画主体には事前に分からない。よしんば、別の事例または意識調査などによって推測しえたとしても、代替案の提示の仕方によって、4-1 で述べたように考えられないような重みづけがなされていると考えられることがある。

6) 重みづけは、評価項目に関して固定したものでなく、その代替案のもつ、評価項目についての評価値の大きさ、不確実性によっても変動する。

7) すべての代替案を提示し、各評価者ごとに選好順序を聞くことも実際にはできないことが多い。これは、すべての代替案を示すことによって地価の高騰、生活不安などが予想されるからと思われる。また過去の類似の経験も、現在および当該計画の選好順序を決めるのにどれだけ役立つかは分からないことが多い。

4-2-3 従来の研究

土木計画における総合評価に関する研究は、最近各方面で行われるようになって¹⁾いる。その結果、有用な多くの計画情報を提供している。しかし、4-2-2で述べた問題点の認識1)～7)までを含む計画についてみるならば、問題がないとはいえない。

従来から広く行われている費用便益分析法²⁾は、評価を貨幣尺度で行うということで、本研究で問題にした重み付けを潜在せしめている点で優れている。しかし、精確なShadow Price の計測は容易でなく、また公共土木施設では市場機構は存在しないとみるのが一般的である。したがって適正な価格を付することは、不確実性を混入させることになる。また、貨幣尺度で計測できない景観のような評価項目の取り扱いが困難である。貨幣尺度を唯一の評価基準としているため、評価者ごとの無差別評価曲線の最も大きいものと、結論が一致するものではない。とはいえ、もっとも、理論背景をもつもので、計画主体の1つの情報としては、価値あるものであるが、評価者がこの方法ですべての場合について合意をするとは考えられない。

Maass, Marglin らによって開発された多目的計画法^{3), 4)}は、専門家・意識調査等から評価者ごとの無差別評価曲線が得られるとして、これを外生的に与えているが、これに対しては、Arrowはこのような評価曲線を客観的に存在するものと前提しない方がよいと述べている⁵⁾。

貨幣尺度でなく、効用概念を導入したvon Neumann やMorgenstern に始まる効用理論の実用化がSchlaifer, Fishburn, Keeney⁷⁾⁻¹⁰⁾ らによって進められた。本研究でも、指標値を無次元の共通の評価値に転換する手法としてこの方法を用いることを肯定している。しかし、総合評価値を得るために用いられている重みづけを外生的に挿入することは客観性を欠く。Keeney¹⁰⁾、またPearman¹¹⁾の場合、評価項目の重要さの順序だけを与件としているが、元来この順序も、指標値の大きさ、すなわち、代替案の提示の仕方でも変わってしまうという問題点の認識(4-2-2 5)～7)の条件を満たしていない。

しかし、一般に行われている重み法、すなわち、意識調査¹²⁾、評価者の代表、あるいは専門家によって重みの大きさまで外生的に与えようとする試みよりはより進歩しているといえる。この重み法は前述した認識(4-2-2 5)～7)を満たさない。

また(4-2-2 6)の条件を満たすものはいわゆる重み関数法^{13), 14)}であるが、関数形自体外生的に与えねばならない。恣意的になるおそれがある。

(4-2-2 1), 2)の条件は、従来多くの数理計画法、あるいは、BelensonとKapurらの提唱する多目的線形計画法¹⁵⁾において、たとえ非線形のものが開発されて、有用な情報を与えても、適用する場合、その仮定について慎重に吟味を要することが多い。また、あらかじめ目標水準を設定する伏見・山口らの目標計画法¹⁶⁾やGoal Achievement Matrix法¹⁷⁾とも問題認識が違ったものになる。目標水準設定自体かなり困難なことである。

貨幣尺度、効用値に変換せず、指標値そのまま、または正規化のような方法で統一尺度に直して、評価しようとする方法に、Factor Profile法¹⁸⁾、Concordance Analysis法¹⁹⁾がある。これは評価値の不確実性を取り除くことには、優れた方法であるが、重みはいずれも先見的に定めておかねばならない。Permutation法²⁰⁾も重みの順序があらかじめ既知ということが前提となっている。これについては、第3章で修正を試みている。

以上述べたように、この種の問題に関する研究の大部分は、評価項目の重みが客観的に先決されるという前提に立っていることであって、実際には、(4-2-2 5)～7)で述べた問題点の認識に立って考える必要もある。重みの予知が可能なのは固定した重みが存在し、計画主体が論理的に証明できるか、数多くの客観的なデータが集積されており、多変量解析等^{21), 22)}によってある信頼限界のもとで推定、もしくは予測しうる場合に限られると考える。したがって、重みは先決できるという前提をおく前に、この重みが分からない場合について

の研究を行って従来の研究を発展させることが当面必要となってくる。

4-3 LFW法による問題の定式化

4-3-1 基本的な考え方

本方法論の前提を4-2-2の問題意識から明示すれば、次のとおりである。

1) 計画主体によって実施可能な離散型の代替案が有限個列挙されている(4-2-2 1), 2))。このなかから計画主体は代替案を選択する^{11), 12)}

2) 計画主体は、この計画を評価する異なった価値観をもつ複数の評価者の存在を意識する(4-2-2 3))。

3) 個々の評価者は、代替案を評価するため評価項目をもち、代替案の提示によって評価値を行列表示で与えることができる。これは、評価項目のもつ評価指標ならびにこれを数量的に表わした評価指標値から求めた効用値・評点のように無次元値であるとする⁷⁾⁻¹⁰⁾(4-2-2 3))。

4) この評価値の同一の数量は、同一の価値をもち、計画主体の効用値、評点とする⁷⁾⁻¹⁰⁾

5) 3) で求めた評価値は、評価者全体すなわち評価主体の評価値とする(4-2-2 4))。

6) 1) と3) からゲーム理論という計画主体の効用表「ペイオフ・マトリックス」を構成することができる。

7) 評価値の加法は、許される⁷⁾⁻¹⁰⁾ 各代替案は、各評価項目に付与された重みづき評価値の総和、すなわち総合評価値で評価されるものとする。

8) 計画主体はその存在を意識した評価主体がどのように評価項目の重みづけをするか、また評価主体も計画主体がどのような代替案を出すか分からない(4-2-2 7))。

9) 1つの代替案が出されると、これを否定しようとする評価者がいる。評価者は、この否定の行動を評価項目の重みづけで示す。重みは、総和1の確率値である(4-2-2 6))。

10) 計画主体は、総合評価値の大きい代替案を提出しようとする。評価主体のなかにこの代替案を否定してしまうとする評価者がいるので、総合評価値を小さくするよう重みづけをする(4-2-2 5))。

11) 各代替案を示さなくとも、ある評価項目とある評価項目の評価値を示せば、評価値についての順序関係については合意が得られることがある。たとえば、大気汚染のNO_xの効用値0.2と建設費という評価項目の効用値0.8と比較したとき、どちらが問題かという選好順序は、誰もが前者を選好することが多いと考える。

4) の前提は、計画主体が評価者の立場を容認したとき認められる。実際には、その評価者の代表とみられる人、評価者の関心の深い評価項目についての専門家によってつけられた

評価値を計画主体の評価値とする方法がとられるとする^{7),10),31)} また、同じ評価値ということは、環境項目の効用値 0.8 と経済項目の効用値 0.8 とは重みが同じならば、同価値であるという前提である。

7) の前提は、一般の代替案総合評価法によくみられる方法であるが^{7),10),31)} 評価項目の独立性と 4) の前提とが成立していなければならない。

以上の前提は、4-2-2 の認識が容認される場合、成立しうると考える。

ここで計画主体は、前提 10) の行動原理に基づいて代替案を提案しようとする。しかし、どのような案に対しても前提 9) から、これを好ましくないという評価者がいることを想定する。評価者の行動は前提 10) に基づいてその代替案のもつ最も悪い評価値に着目して、その評価項目に大きな重みづけをするであろうと考える。この重みづけは、計画主体からみれば「予想もしない最悪の重みづけ (Least Favourable Weight Criterion —— 以下 LFW という) のもとで、総合評価がなされた」と観ずることになる。これを LFW 基準でなされたと定義する。また、これは最悪重みベクトルが付与されたことを意味する。したがって、計画主体としては評価者によって LFW 基準で行われても、総合評価値を最大にするような代替案を選ぼうとする。これは計画主体が評価主体とゲームを行ったとき、マキシミン基準に沿ったことになる。

一方、計画主体は、評価主体が付与する評価項目の重みが分かっているならば、総合評価値の最も大きくなるような代替案を示せばよいことになる。このとき、評価主体は、この案が好ましくない評価者の存在を意識して、これを否定するためにその代替案の最も低い評価値をもつ評価項目に関心を払い、前提の 9) に基づいてその評価項目に重みを配分するのが合理的な行動といえる。すなわち評価主体はミニマックス基準によって重みづけようとする。

ところが、前提の 8) より両者とも事前に相手がどんな代替案を提示するか、どの評価項目に関心を払っているかは分からない。このため両者の行動は、計画の効用行列 (評価者にとっては非効用行列) を前提の 4) から計画主体のペイオフ・マトリックスとする零和 2 人ゲームに従うと考えることができる。

評価者は、計画主体に総合評価値を支払うのではなく、これ以上の値をもつ計画を計画主体に与えなかった。すなわち、反対の最善を尽した。計画主体は、これ以下の総合評価値をもつ代替案を選ばなくて済んだという意味に解することができる。

得られたゲームの値は、LFW 基準によって選択された代替案の集合の総合評価値と同じであるとした。

実際には、代替案のすべてがいつも以上のように評価者に LFW 基準が用いられることはないであろう。しかし、良い代替案のもつ良い評価項目に重みがつけられるより、前提の 2)

と9) からこれは当然として無視され、悪い評価項目にのみ関心が払われることの方が多いと考えたのである。計画主体がゲーム理論を導入するのも以上の経緯からであって、また、ミニマックス決定原理を用いるのは、厳しい評価者の存在を意識して計画の実行性をむしろ高めようとしたもので、楽観的なマクシマックス決定原理を用うべき根拠は何もないことによる。

評価者がどのような重みづけをするかまったく分からないということは、实际的でなく、心情的に経済性より安全性をより重視するとか、評価者の分かっている2項目間の重みの順序づけぐらいは、合意が得られる場合があるかもしれない。このようなことは、評価者に課せられた行動の制約という形式で、取り扱うことにする。

次に、複数の代替案が事前に与えられている前提は、どの代替案が選ばれようと、計画主体にとって実行可能であるということである。したがって、環境基準はもちろん、工費・工期的にも、技術的にもチェックされている。したがって、選択される代替案集合の総合評価値は、計画主体の計画技術レベルの評価値ともいえるかもしれない。本研究では、対象となるペイオフ・マトリックスのもつゲームの値にこのような解釈を与えている。一般にミニマックス決定法則は混合方略（確率化方略）になる。各評価項目に対する重みはこれであってもよいが、代替案の決定法則としては、いずれか1つを選ばねばならない計画主体としては都合が悪い。そのための手順もあわせて考察する。

4-3-2 LFW法の手順

- 1) 計画対象についてすべての代替案を用意する。
- 2) 代替案群に対して、評価を異にするとされる評価者のグループ分けをする。
- 3) グループごとに意識している評価要因、評価項目を見い出す。この手法にはブレン・ストーミング²³⁾、デルファイ法²⁴⁾、KJ法²⁵⁾、DEMATEL²⁶⁾、ISM²⁷⁾等の手法がある。
- 4) 評価項目を大、中、小のレベルに区分する。

当該の土木施設計画に関係すると考えられる大評価項目（大レベル）を選び出し、これを出発点として大評価項目に関連する中、小評価項目（中、小レベル）へと階層的に分解して評価項目の関連樹木を作成する²⁸⁾。

このように評価項目の関連樹木を作り、評価指標を選択する。次に、評価指標に適切な尺度を設定する。これは基数尺度でも序数尺度でもよい。これらの尺度を用いて各代替案がもつ評価項目の指標値を専門家が計測する。このとき、環境基準等所定の基準に達しない1つでも評価値があるとき、この代替案は捨て去る。

- 5) 各代替案に関係なく、4) の指標値から、前提条件4) によって同等の価値を有する評価値（たとえば効用値）を求める⁷⁾⁻¹⁰⁾。評価値の求め方については本章では特に言及し

ない。

6) 5) の作業の結果から、評価値マトリックスを得る。すべての代替案について同じ評価値をもつ評価項目があれば検討の上削除する。評価グループごとに、評価項目数を減少しておくと、計算がしやすくなるためである。

7) 代替案群のFactor Profileなどの作業で劣解の代替案を捨て去る。

8) 評価値マトリックスをペイオフ・マトリックスとするゲームに対してミニマックス解を求める。評価項目にかけられる重みの大きさの順序関係が分かっているときには、このような制約を満足するミニマックス解を求める。

9) 8) で求めた解は、代替案選択についても一般に2つ以上の代替案の混合方略として求められる。LFW法でゲームの解を求めるのは、評価主体が多くの評価者の存在を意識して多くの代替案群のなかから最悪の状態を想定して、少数の代替案に絞って、そのなかから選択しようとするためである。その場合、以上のようにLFW法によって求められる確率化代替案は、その計画主体の心のゆらぎを反映したものと考えられる。しかし、1つの案に絞るとすれば、どうすればよいかが次の問題となる。そこで、以下に述べる①から③の方法を提案する。

① 求められた混合方略通りのくじを作って代替案を決定する。

② ゲームの値を下げて次善解としての純粋方略を求めて、混合方略の解と比較検討して決める。

純粋方略によって求める②の方法は、LFW法によって求めた代替案群の解と一致しないこともある。また、総合評価値としては低いことになる。しかし、計画主体が1つの代替案を指定するという意味で新たな1つの情報を計画主体に与えたことになる。したがって、この次善解は、LFW法によって求めた代替案と比較して意思決定をするという意味で有用であると考えられる。

③ ①のくじを作ることは行わないで、前提条件の11)に基づき混合方略として得られた代替案の比較を行う。すなわち、それぞれの評価項目の最も小さい評価値を選択して、その値をもつ評価項目間でどちらが問題であるかを選好する。選好された評価項目について評価値の大きい代替案を選ぶ。

多くの評価者の存在を意識したとき、最適唯一解を求めることはきわめて難しい問題であり、いろいろなことを考慮して、最終的には、計画主体の判断に委ねられる。その場合、LFW法ならびに次善解は、その判断に際して有益な情報を与える。次善解のみ最初から求めては、より良い代替案を見失うことになる。

10) 9) で得られた結果が計画主体によって満足できなければ、9)の結果を比較して調

整をはかる。この方法は例題の後の考察で述べる。

4-3-3 LFW法の定式化⁷⁾

最初に必要な記号を定義する。

θ_j : 評価項目, $j = 1, 2, \dots, m$

Θ : 評価項目集合, $\Theta = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m\}$

a_i : 代替案 i , $i = 1, 2, \dots, n$

A : 代替案集合, $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$

u_{ij} : 代替案 i が評価項目 j に対してもつ評価値

ただし,

$$0 \leq u_{ij} \leq 1$$

この研究では、効用値で表わされていると考える。すなわち、 u_{ij} はゲームの理論というペイオフ・マトリックスの ij 要素を構成する。

また、代替案 i と i' とがあるとき、代替案 i の方が代替案 i' より選好されるとは、次の条件を満たすことである。

$$u_{ik} = u_{i'k}, \quad \forall k = 1, 2, \dots, m$$

ただし, $k \neq j$

$$u_{ij} > u_{i'j}, \quad \forall j = 1, 2, \dots, m$$

τ : 評価項目の重みベクトル,

$$\tau = (\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_m), \quad 0 \leq \tau_j \leq 1, \quad \sum_{j=1}^m \tau_j = 1$$

τ のうち、実行可能なものの全体の集合を T とする。すなわち、評価主体側の重みづけに関して制約のない場合には、

$$T = \{\tau = (\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_m) \mid \sum_{j=1}^m \tau_j = 1, \quad 0 \leq \tau_j \leq 1, \quad \forall j = 1, 2, \dots, m\}$$

である。

一方、評価主体側の重みづけに関して、

$$\tau_j - \tau_{j+1} \geq 0, \quad \forall j = 1, 2, \dots, m-1$$

なる制約がある場合には、

$$T = \{\tau = (\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_m) \mid \sum_{j=1}^m \tau_j = 1, \quad 0 \leq \tau_j \leq 1, \quad \forall j = 1, 2, \dots, m,$$

$$\tau_j - \tau_{j+1} \geq 0, \quad \forall j = 1, 2, \dots, m-1\}$$

である。

δ : 代替案の決定法則, A 上での重みベクトル,

$$\delta = (\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n)$$

$$0 \leq \delta_i \leq 1, \quad \sum_{i=1}^n \delta_i = 1$$

そして δ 全体の集合を A とする。

$$EU(\tau, \delta) : EU(\tau, \delta) = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n u_{ij} \delta_i \tau_j$$

以上の記号の定義のもとで、次のミニマックス定理という最悪重みベクトル $\underline{\tau}$ と A 上での決定法則 $\bar{\delta}$ とを求める。

[ミニマックス定理]⁷⁾

$$V = \min_{\tau \in T} \max_{\delta \in A} EU(\tau, \delta) = \max_{\delta \in A} \min_{\tau \in T} EU(\tau, \delta) \quad \dots\dots\dots (4-3-1)$$

が成立し、

$$V = EU(\underline{\tau}, \bar{\delta}) = \min_{\tau \in T} EU(\tau, \bar{\delta}) = \max_{\delta \in A} EU(\underline{\tau}, \delta) \quad \dots\dots\dots (4-3-2)$$

なる $(\underline{\tau}, \bar{\delta})$ が存在する。

このとき $\underline{\tau}$ は計画主体が決定法則 $\bar{\delta}$ を用いたときに、評価の期待値を最小にするという意味で計画主体にとって最悪な重みベクトル (Least Favourable Weight) であり、 $\bar{\delta}$ は評価主体が重みベクトル $\underline{\tau}$ を用いたときに、評価の期待値を最大にするという意味で計画主体のマクシミン決定法則である。また、このとき V はゲームの値であり、計画主体にとっては、期待される総合評価の上界を与えている。

なお、 $\underline{\tau}, \bar{\delta}$ の求め方は、ゲーム理論および線形計画法の教科書に詳しい。^{29), 30)}

評価主体側は、各評価項目の相対的重要度を判断して、重要度の高い評価項目から低い評価項目へと順次着目しながら、代替案の評価を行う場合がある。このときは、上記の線形計画問題に、さらに次のような制約条件式を追加すればよい。すなわち、

$$\left. \begin{array}{l} \tau_j - \tau_{j+1} \geq 0, \forall j=1, 2, \dots, m-1 \\ \tau_j \geq 0, \forall j=1, 2, \dots, m \end{array} \right\} \quad \dots\dots\dots (4-3-3)$$

このときの $\underline{\tau}, \bar{\delta}$ の求め方は、たとえば参考文献30) の3.の方法に従えばよい。なお、制約条件式 (4-3-3) は、前述の T の定義に含まれているが、代替案の総合評価が行われる状況が2通りあることを明確にするために再記する。

4-3-4 混合方略と次善解としての純粋方略

最後に、以上の計算で得られた代替案の決定法則 $\bar{\delta}$ が純粋方略でない場合の取り扱いを述べる。①の方法は、 $\bar{\delta}$ に従って唯一の代替案を選択するには、 $\bar{\delta}$ が指定する各代替案の選択

確率 $\bar{\delta}_1, \bar{\delta}_2, \dots, \bar{\delta}_n$ に応じたくじを引くことになる。しかし、ミニマックス解 $\bar{a}, \bar{\delta}$ によるゲームの値は、このようなくじによって各代替案を決定する過程の評価値なのであって、たまたまくじによって選択された1個の代替案のミニマックスの意味での評価値ではない。したがって、このようなくじによって選ばれた1個の代替案は、必ずしも、計画主体の出す手を純粋方略に制限したときのミニマックス解ではない場合がある。計画主体の代替案決定法則を純粋方略に限定したときにはミニマックス決定法則が以下の手順で得られることは明白である。すなわち、②の方法としてこのようなミニマックス決定法則を選択される代替案 a_i で表わすと、

① 評価項目の重みづけに制約のないとき

$$u_{ij} = \max_i \min_j u_{ij}, 1 \leq j \leq m, 1 \leq i \leq n \quad (4-3-4)$$

② 評価項目の重みづけに順序関係の制約があるとき

$$v_{il} = \max_i \min_l v_{il}, 1 \leq i, l \leq n \quad (4-3-5)$$

によって代替案 \bar{a}_i が求められる。ここで、 v_{il} は次式によって求められる評価値である。

$$v_{il} = \sum_{j=1}^m u_{ij} \tau_{lj}^* (i, l = 1, 2, \dots, n)$$

ただし、 τ_{lj}^* は代替案 a_l の評価項目 j に対する重みである。そして、この τ_{lj}^* は各代替案 a_l ごとに次の線形計画問題を解くことにより求められる。すなわち、

$$\begin{aligned} & \text{minimize } \sum_{j=1}^m \tau_{lj} u_{lj} \quad (4-3-6) \\ & \text{subject to} \\ & \left. \begin{aligned} & \sum_{j=1}^m \tau_{lj} = 1 \\ & \tau_{lj} \geq 0 \quad (\forall j = 1, 2, \dots, m) \\ & \tau_{lj} - \tau_{l, j+1} \geq 0 \quad (\forall j = 1, 2, \dots, m-1) \end{aligned} \right\} \quad (4-3-7) \end{aligned}$$

ところで、この問題の解 τ_{lj}^* は、各代替案 a_l ごとに求まる最悪の評価を与える重みである。そのために、 v_{il} は評価主体が代替案 a_l の評価項目 j に対する事前確率 τ_{lj}^* だけに基づいて代替案 a_i につける最小の評価値を表わす。こうして、 v_{il} の全体は評価値を表わす正方行列を作る。

以上の式(4-3-4)、(4-3-5)は必ずしも解が1個であるとは限らない。複数個ある場合、それらは同等の解を表わしている。次の4-4で示される具体例のなかで \bar{a}_i は次善解と呼ばれている。次善解 \bar{a}_i の評価値は、 u_{ij} 、もしくは v_{il} で与えられる。「次善」という用語がなされているのは、

$$V(\underline{\tau}, \bar{\delta}) \geq u_{ij} (u_{ij} = \min u_{ij}) \dots\dots\dots (4-3-8)$$

または,

$$V(\underline{\tau}, \bar{\delta}) \geq v_{il} (v_{il} = \min v_{il}) \dots\dots\dots (4-3-9)$$

である u_{ij}, v_{il} の中で a_i が最大値を指定するからである。

以上の議論は、すべてミニマックス決定原理に即したものであるが、 $\bar{\delta}$ が指定する選択の確率がゼロでない代替案は、それが選択される確率の大きさに関係なく、すべてが最悪重みづけベクトル $\underline{\tau}$ にとってのベイズであることに注意しておこう。すなわち、これらの代替案を仮に $a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ip}$ の p 個とすると、 $1 \leq q \leq p$ のすべての q について、

$$\sum \tau_j u_{iqj} \dots\dots\dots (4-3-10)$$

の値は同じになる。つまり、 a_{i1} から a_{ip} まではベイズの意味では $\underline{\tau}$ に関して優劣がない。すなわち、期待効用最大原理からいえば、最悪重みづけベクトル $\underline{\tau}$ さえ与えられれば、 $a_{i1} \sim a_{ip}$ のなかで何を選択しようと $\underline{\tau}$ に関する期待効用値、すなわち総合評価値は同じである。換言すれば、 $\underline{\tau}$ のもとでは期待効用最大原理から $a_{i1} \sim a_{ip}$ の1個の代替案の選択は計画主体の主観に任されているといってもよいのである。これは、従来の最適計画法の研究からみれば、一步後退した形に見えるが、最後まで不確実性の問題としては、これを正しくモデルに反映して、意思決定者への計画情報とした方がよいと考える。もし唯一解を得たいというならば、次の方法が考えられる。いずれも合理的な方法である。 $\bar{\delta}$ が指定する確率くじを作り、それを1回引いて代替案を選択するというのが混合方略の正当な実施の方法である。このほかに以上の決定法則を示して審議会等の第三者の意見を聞くのもよい。また、混合方略の解に基づいて行う手順9)、③で述べた方法もその1つである。

4-4 適用例と考察

本節では、4-3で定式化されたゲームの理論による総合評価手法を、水資源計画問題³¹⁾とK港の湾岸道路計画問題に適用し、従来の方法と比較しながら考察を行う。

4-4-1 水資源計画問題

この例題は、Keeneyの方法と比較するため、文献31)から引用している。

Danube川の支川であるTisza川は、約130,000㎤の流域面積を有し、そのうち約30,000㎤は、ハンガリーに属する。このTisza川流域の水資源開発が計画され、その代替案は以下のように与えられた。

1) 多目的運河貯水池システム：この代替案により、TiszaとDanube両河川の水資源が利用される。

2) 揚水貯水池システム：この代替案は、Tisza川の水を利用してSátrosとBükk両山

脈の丘陵部を開発する。

3) 平地貯水池システム：この代替案は、Tisza 川の水を利用してその流域の平地部を開発する。

4) 山地貯水池システム：この代替案は、ハンガリー国外の Tisza 川上流域に貯水池建設を行う。

5) 地下水貯水池システム：この代替案は、Tisza 川の河川水と地下水を利用するシステムである。

上記の 1) ～ 5) の代替案の基本的目的は、55年の期間、空間および時間にわたって水資源の自然供給を行い、総合的流出調節により水量と水質を確保することである。そして、ハンガリーの計画者は、以下の目標を設定した。

- 1) 需要量に見合う水量・水質の確保：この目標は、空間・時間にわたる水の量的・質的要求を満足することを意味する。
- 2) 洪水防御：少なくとも50年洪水に対する安全性を保障する。
- 3) 下水と污水处理：排水・下水設備の充実と水の効果的利用・再利用をはかる。
- 4) 資源利用：代替案の実施と操作に必要な自然的・社会的資源の使用は最小にする。
- 5) 環境影響：これは、貯水池建設、運河網、そして地下水揚水が環境に及ぼす影響を最小にする。

6) 弾力性：種々の不確実性に対して弾力的であることが望まれる。

以上の計画目標から表 4-4-1 に示す12の属性と評価指標が選ばれ、さらに、各代替案に予測される評価指標値と効用が得られた³¹⁾。ただし、計画主体は、最良の場合には1、最悪の場合には0の値をとる効用関数を、くじの原理に従って事前評価した。

次に、表 4-4-1 の効用行列に基づいて本節ではミニマックス基準による代替案の総合評価を行った。その結果、重みに制約のない場合を表 4-4-2 に、重みに制約のある場合を表 4-4-3 ～ 7 にそれぞれ示す。これらについて以下考察を行う。

重みに制約のない場合、 π は θ_4 と θ_7 とに約 0.5 ずつの値を与えている。表 4-4-1 の効用行列でみると、 θ_4 は代替案 $a_2 \sim a_5$ に最小の効用値を与える属性であり、 θ_7 は代替案 a_1 に最小の、代替案 a_2 に 2 番目の最小の効用値を与える属性になっている。 π が「最悪重みづけベクトル」と呼ばれるゆえんである。ここではミニマックス決定法則は、代替案 a_1 に確率 0.641、代替案 a_4 に確率 0.359 で選ぶ混合方略で与えられている。これを次善な解、すなわち純粋方略で与えられる解として求めると代替案 a_2 が選ばれる。そして、このときの効用値は 0.399 となり、混合方略時の値 0.415 と比較して減少している。前述した手順 9) の③の方法を用いると a_1 となる。これは以下の理由で選ばれる。表 4-4-2 より注目すべき

表4-4-1 水資源計画の効用マトリックス

評価項目		指標値	代替案				
			a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
費用	θ_1	10 ⁹ フローリン* /年	99.6	85.7	101.1	95.1	101.8
			0.489	0.894	0.435	0.637	0.409
水不足	θ_2	%	4	19	50	50	50
			0.960	0.783	0.251	0.251	0.251
水質	θ_3	主観	80	60	20	80	40
			0.936	0.815	0.379	0.936	0.638
エネルギー↑	θ_4	エネルギー生産量	0.70	0.50	0.01	0.10	0.01
		エネルギー使用量	0.610	0.399	0.006	0.067	0.006
レクリエーション	θ_5	主観	80	60	40	20	20
			0.672	0.445	0.263	0.117	0.117
洪水防御	θ_6	発生間隔	100	200	67	200	500
			0.307	0.638	0.150	0.638	0.998
土地・森林利用	θ_7	1,000ha	90	80	80	60	70
			0.200	0.400	0.400	0.800	0.600
社会インパクト	θ_8	主観	80	80	60	40	40
			0.914	0.914	0.791	0.615	0.615
環境	θ_9	主観	80	60	20	60	40
			0.860	0.695	0.270	0.695	0.500
国際協力	θ_{10}	主観	80	60	40	20	40
			0.914	0.791	0.615	0.362	0.615
開発可能性	θ_{11}	主観	80	60	40	20	40
			0.914	0.791	0.615	0.362	0.615
弾力性	θ_{12}	主観	80	80	20	40	20
			0.800	0.800	0.200	0.400	0.200

* 20フローリン=1ドル (上段: 測定値)
† 再生ファクター (下段: 効用値)

評価項目はエネルギー (θ_4) と森林・土地利用 (θ_7) である。次に表4-4-1 から代替案 a_1 , a_4 の θ_4 , θ_7 に対する評価値を取り出し整理する。この場合、代替案 a_1 では $(u_{14}, u_{17}) = (0.610, 0.200)$, 代替案 a_4 では $(u_{44}, u_{47}) = (0.067, 0.800)$ である。そして、両代替案がもつ小さい評価値を探す。ここでは、0.200と0.067である。続いて、小さい評価値を示している評価項目間の選好を問う。この値をみながら、もし θ_7 よりも θ_4 を選好するならば、前者に重み0を、後者に重み1を付与することになる。最後に、選好された評価項目の評価値を比較して、評価値の大きい値をもつ代替案を選ぶ。こうして代替案 a_1 が選ばれる。

次に、重みに制約がある場合をみる。表4-4-3では、 $\tau(\theta_1) \geq \tau(\theta_2) \geq \dots \geq \tau(\theta_{12})$ の順に重みの制約を与えている。この場合は、ミニマックス決定法則は純粹方略となり、代

表4-4-2 重みの順序に制約がない場合(ケース1) ($V=0.415$)

評価項目	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6	θ_7	θ_8	θ_9	θ_{10}	θ_{11}	θ_{12}
τ	0.0	0.0	0.0	0.525	0.0	0.0	0.475	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
代替案	a_1		a_2		a_3		a_4		a_5			
$\bar{\delta}$	0.641		0.0		0.0		0.359		0.0			

(純粹次善解は a_2 である。 $V_p=0.399$)

表4-4-3 重みの順序に制約がある場合(ケース2) ($V=0.625$)

評価項目	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6	θ_7	θ_8	θ_9	θ_{10}	θ_{11}	θ_{12}
τ	$0.143 \geq 0.143 \geq 0.143 \geq 0.143 \geq 0.143 \geq 0.143 \geq 0.143 \geq 0.0 \geq 0.0 \geq 0.0 \geq 0.0 \geq 0.0$											
代替案	a_1		a_2		a_3		a_4		a_5			
$\bar{\delta}$	0.0		1.0		0.0		0.0		0.0			

表4-4-4 重みの順序に制約がある場合(ケース3) ($V=0.661$)

評価項目	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6	θ_7	θ_8	θ_9	θ_{10}	θ_{11}	θ_{12}
τ	$0.125 \geq 0.125 \geq 0.125 = 0.125 \geq 0.125 \geq 0.125 \geq 0.125 = 0.125 \geq 0.0 \geq 0.0 \geq 0.0 \geq 0.0$											
代替案	a_1		a_2		a_3		a_4		a_5			
$\bar{\delta}$	0.0		1.0		0.0		0.0		0.0			

表4-4-5 重みの順序に制約がある場合(ケース4) ($V=0.631$)

評価項目	θ_6	θ_2	θ_3	θ_5	θ_9	θ_4	θ_1	θ_7	θ_8	θ_{10}	θ_{11}	θ_{12}
τ	$0.350 \geq 0.130 \geq 0.130 \geq 0.130 \geq 0.130 \geq 0.130 \geq 0.0 \geq 0.0 \geq 0.0 \geq 0.0 \geq 0.0 \geq 0.0$											
代替案	a_1		a_2		a_3		a_4		a_5			
$\bar{\delta}$	0.021		0.979		0.0		0.0		0.0			

(純粹次善解は a_2 である。 $V_p=0.629$)

表4-4-6 重みの順序に制約がある場合(ケース5) ($V=0.634$)

評価項目	θ_6	θ_2	θ_3	θ_5	θ_9	θ_4	θ_1	θ_7	θ_8	θ_{10}	θ_{11}	θ_{12}
τ	$0.125 = 0.125 \geq 0.125 \geq 0.125 \geq 0.125 \geq 0.125 = 0.125 \geq 0.125 \geq 0.0 \geq 0.0 \geq 0.0 \geq 0.0$											
代替案	a_1		a_2		a_3		a_4		a_5			
$\bar{\delta}$	0.0		1.0		0.0		0.0		0.0			

表4-4-7 重みの順序に制約がある場合(ケース6) ($V=0.681$)

評価項目	θ_2	θ_6	θ_3	θ_{10}	θ_8	θ_1	θ_5	θ_9	θ_4	θ_7	θ_{11}	θ_{12}
τ	$0.140 \geq 0.140 \geq 0.09 \geq 0.09 \geq 0.09 \geq 0.09 \geq 0.09 \geq 0.09 \geq 0.09 \geq 0.09 \geq 0.0 \geq 0.0$											
代替案	a_1		a_2		a_3		a_4		a_5			
$\bar{\delta}$	0.386		0.614		0.0		0.0		0.0			

(純粹次善解は a_2 である。 $V_p=0.677$)

替案 a_2 が選ばれる。さらに、重みの順序関係は同一であるが、 $\tau(\theta_3)=\tau(\theta_4)$, $\tau(\theta_7)=\tau(\theta_8)$ という等号制約が与えられた場合の結果を表 4-4-4 に示す。このとき、属性 θ_8 に対しても重みが付与される。そして、同様に代替案 a_2 が選ばれる。

また、属性の順序を入れ換えて、重みに制約がある場合の計算結果を表 4-4-5 に示す。特に、属性 θ_6 , θ_2 , θ_3 , θ_5 , θ_9 , θ_4 を重要と考えて、これら 6 つの属性に大きい重みが与えられるように設定した。この場合のミニマックス決定法則は、代替案 a_1 を確率 0.021 で、代替案 a_2 を確率 0.979 で選ぶ混合方略を示している。これは、代替案 a_1 と a_2 との属性 θ_6 に対する効用値の差が反映しているものと考えられる。また、このときの次善解は、②の方法によって代替案 a_2 を選ぶようになっている。

さらに、 $\tau(\theta_6)=\tau(\theta_2)$, $\tau(\theta_4)=\tau(\theta_1)$ という等号制約が与えられた場合の結果を表 4-4-6 に示す。このとき、属性 θ_8 , θ_{10} , θ_{11} , θ_{12} 以外の属性に対して、等しい重みが付与される。そして、このときのミニマックス決定法則は、代替案 a_2 を選ぶ純粋方略である。

以上より、重みに等号制約のある場合とない場合とを比較すると、総合評価値は前者が高くなっている。また、 τ に部分的に等号制約が含まれる場合、この例ではミニマックス決定法則は純粋方略になっている。

また、重みに制約のない場合とある場合とを比較すると、前者の総合評価値は小さい。これは、重みに制約のある場合は、その制約が施設提供者への情報となる一方、重みに制約のない場合は、まったくどのような重みづけがなされるか分からないという不確実な状態であることに原因していると考えられる。

ところで、Keeney は評価項目の選好順序を先決的に次のようにつけている。

$$\theta_2 \succ \theta_6 \succ \theta_3 \simeq \theta_{10} \succ \theta_8 \succ \theta_1 \succ \theta_5 \simeq \theta_9 \succ \theta_4 \simeq \theta_7 \succ \theta_{11} \simeq \theta_{12} \dots (4-4-1)$$

ただし、 $\theta_i \succ \theta_j$ は、 θ_j より θ_i を選好することを表わし、 $\theta_i \simeq \theta_j$ は θ_i と θ_j とが無差別であることを表わす。

これは表 4-4-7 に相当する。その結果、代替案 a_i の総合評価値は次のような乗法型の多属性効用関数で計算された。

$$U(a_i) = \left\{ \prod_{j=1}^{12} [1 + k\tau_j u_{ij}] - 1 \right\} / k \dots\dots\dots (4-4-2)$$

また、重みは以下のように計算されている。ここで、 k は定数である。

$$\left. \begin{array}{l} \tau(\theta_1)=0.150, \tau(\theta_2)=0.243, \tau(\theta_3)=0.189 \\ \tau(\theta_4)=0.090, \tau(\theta_5)=0.132, \tau(\theta_6)=0.200 \\ \tau(\theta_7)=0.090, \tau(\theta_8)=0.165, \tau(\theta_9)=0.132 \\ \tau(\theta_{10})=0.189, \tau(\theta_{11})=0.034 \\ \tau(\theta_{12})=0.034, k=-0.715 \end{array} \right\} \dots\dots\dots (4-4-3)$$

その結果、代替案の選好は a_1 であった。これによると $U(a_1)=0.832$, $U(a_2)=0.831$ で、それぞれ他の代替案の総合評価値に比べると抜きん出ている。一方、本研究の提案する結果によれば、表4-4-7に示すように a_1 , a_2 の混合方略が選ばれていて、この方略の総合評価値は、0.681である。また、次善解は a_2 であり、その総合評価値は0.677である。③の方法によるときも a_2 であった。すなわち、本研究での方法は、全然重みについての情報がないとき、 a_1 と a_4 の混合方略、次善解は a_2 、③の方法のとき、 a_1 、またKeeney らがつけた重みの順序関係のあるとき、 a_1 と a_2 の混合方略、次善解は a_2 、③の方法も a_2 となってKeeney らが a_1 を唯一選好した結果とは、若干異なっている。この事例をみても、なんらかの不確実性をもつものに、与件として、判断基準もしくは確定値を設定すれば唯一解は得られる。しかし、不確実性をもつものは、不確実なものとして解を求め、最終的に計画主体の問題とした方がより事実に基づく。この例でも、 a_1 もしくは a_2 いずれかがよく、他の代替案が絶対に捨て去られるべきというのは不確実性を考慮したとき、むしろ誤った判断であると思う。

LFW法は確率化代替案を示し、唯一解を与えていない。計画主体は a_1 , a_2 の選択にあたって確率的に、弾力的に対処すべきことを教えている。

①、②および③の方法は、計画主体が実際に行動するときの1つの指針を与えたものであって、確率化代替案 a_1 , a_2 の解に基づいてなんらかの方法で a_1 もしくは a_2 が求められることは、純粋方略、もしくは他の方法で、それらの解が唯一に得られたのとは、本質的に異なるものである。

4-4-2 K港における湾岸道路計画問題

K港の湾岸道路計画は、総延長約10kmの区間を有するもので、その中間において4つの主要航路を横断する。そして、この横断形式は、橋梁と沈埋トンネルの両方が考えられている。この横断形式の組合せにより12の代替案が考えられるに至った。また、直接・波及の両効果を6種類の立場（事業主体〔道路管理者〕、運航者、沿道住民、自動車利用者、港湾管理者および地域住民）ごとに分類し、結局29の評価項目が選ばれた。さらに、効用値は、1～5の整数（1＝最悪、5＝最良）値が評価者の代表および専門家によって与えられた。こうして作成された効用行列を表4-4-8に示す。

この表4-4-8の効用行列に基づいて、4-4-1と同様に、重みに制約のない場合と制約のある場合とについて計算を行ったところ表4-4-9～11に示す結果が得られた。

重みに制約のない場合、ミニマックス決定法則は、代替案 a_1 と a_8 との混合方略になっている。さらに、この次善解を求めたところ、代替案 a_7 , a_8 , または a_{10} を選ぶ純粋方略へと変化した。ここでは、4-4-1と違って次善解が複数個出現している。これは表4-4-11に示されるように、重みに制約のある場合にもみられる。このような原因としては、4-4-1

表 4-4-8 湾岸道路計画の効用マトリックス

インタレスト・グループ (評価主体)	評価項目	代替案											
		a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}
道路管理者 (道路計画代替 案提示者)	建設費用	θ_1	5	4	3	4	4	3	5	5	4	4	2
	設計の不確実性	θ_2	4	2	2	2	4	2	3	4	3	3	2
	実施の不確実性	θ_3	5	2	2	2	4	2	3	4	3	3	2
	完成時期	θ_4	5	3	2	3	4	4	5	4	5	4	2
	維持・管理費	θ_5	4	2	2	1	3	2	3	2	4	2	2
	地形・地質	θ_6	4	3	4	3	4	4	4	4	3	4	3
	自然災害救済	θ_7	3	2	2	1	2	1	2	2	3	2	1
運航者	直接航行障害	θ_8	1	3	1	3	3	3	3	1	3	1	3
	間接航行障害	θ_9	1	3	1	5	3	3	3	1	3	1	5
	電波・信号障害	θ_{10}	1	1	3	5	1	4	3	4	2	3	5
	緊張	θ_{11}	1	2	1	5	2	4	3	4	1	3	5
	視認性	θ_{12}	1	2	2	4	2	4	4	4	2	4	4
	海象	θ_{13}	3	3	2	2	3	2	4	4	4	4	4
沿道住民	大気汚染	θ_{14}	3	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2
自動車 利用者	火災・爆発	θ_{15}	3	2	2	2	2	2	3	2	3	2	2
	交差・ランプの利便性	θ_{16}	1	2	2	4	2	3	5	3	5	3	3
	道路半径	θ_{17}	3	3	2	2	3	2	3	4	3	3	4
	危険物輸送トラック	θ_{18}	3	2	2	2	2	2	3	2	3	2	2
	交差・ランプの快適性	θ_{19}	2	2	2	3	2	3	3	3	2	3	3
	台風・高潮・波浪	θ_{20}	4	3	2	2	3	2	3	2	4	3	2
	船舶衝突	θ_{21}	1	3	1	4	3	3	3	3	1	3	4
港湾管理者	航路計画の直接変更	θ_{22}	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3
	航路計画の間接変更	θ_{23}	4	4	4	5	3	3	3	3	3	3	3
	港湾機能の間接障害	θ_{24}	2	3	2	3	2	3	3	3	2	4	4
	土地利用	θ_{25}	2	2	1	1	4	1	4	4	2	3	3
	港湾計画との整合性	θ_{26}	1	5	1	5	3	3	3	3	1	5	3
地域住民	工業地帯へのインパクト	θ_{27}	3	3	1	1	3	1	4	2	4	4	2
	開発地域との整合性	θ_{28}	1	2	2	3	2	3	4	4	2	4	4
	都心への接近性	θ_{29}	3	3	3	4	3	4	4	4	3	4	4

で取り扱った効用行列に比較して、本項での効用値が5段階評価という粗い評価のために類似の効用値をもつ複数の代替案が存在したものと考えられる。また方法手順9) ③によると a_8 の1つが選好される。

表4-4-11において、興味ある結果が得られている。すなわち、 π は θ_8 に1を付与する重みづけになっているが、ミニマックス決定法則は、代替案 a_2 と a_8 との混合方略になっている。これは、均衡解が代替案 a_2 と a_8 について2個存在するためにみられる現象である。そして、このときの総合評価値は、次善解の総合評価値と一致している。

これによって評価主体は a_8 の代替案の選択に最も関心を払う情報を得るとともに、比較

表 4-4-9 重みの順序に制約がない場合(ケース7)

($V=2.33$)

評価項目	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6	θ_7	θ_8	θ_9	θ_{10}	θ_{11}	θ_{12}	θ_{13}	θ_{14}	θ_{15}	θ_{16}	θ_{17}	θ_{18}	θ_{19}	θ_{20}	θ_{21}	θ_{22}	θ_{23}	θ_{24}	θ_{25}	θ_{26}	θ_{27}	θ_{28}	θ_{29}	θ_{30}
Σ	0	0	0	0	0	0	0	0.667	0	0.333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
代替案	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}	a_{16}	a_{17}	a_{18}	a_{19}	a_{20}	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}	a_{25}	a_{26}	a_{27}	a_{28}	a_{29}	a_{30}
$\bar{\theta}$	0.333	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.667	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.667	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

(純粋次善解は a_7, a_8 または a_{10} である。 $V_p = 2.00$)

表 4-4-10 重みの順序に制約がある場合(ケース8)

($V=3.26$)

評価項目	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6	θ_7	θ_8	θ_9	θ_{10}	θ_{11}	θ_{12}	θ_{13}	θ_{14}	θ_{15}	θ_{16}	θ_{17}	θ_{18}	θ_{19}	θ_{20}	θ_{21}	θ_{22}	θ_{23}	θ_{24}	θ_{25}	θ_{26}	θ_{27}	θ_{28}	θ_{29}	θ_{30}
Σ	$0.085 \geq 0.085 \geq \dots \dots \dots \geq 0.085 \geq 0.034 \geq 0.034 \geq \dots \dots \dots \geq 0.034 \geq 0 \geq 0 \geq \dots \dots \dots \geq 0$																													
代替案	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}	a_{16}	a_{17}	a_{18}	a_{19}	a_{20}	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}	a_{25}	a_{26}	a_{27}	a_{28}	a_{29}	a_{30}
$\bar{\theta}$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.341	0.659	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.659	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

(純粋次善解は a_8 である。 $V_p = 3.24$)

表 4-4-11 重みの順序に制約がある場合(ケース9)

($V=3.00$)

評価項目	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6	θ_7	θ_8	θ_9	θ_{10}	θ_{11}	θ_{12}	θ_{13}	θ_{14}	θ_{15}	θ_{16}	θ_{17}	θ_{18}	θ_{19}	θ_{20}	θ_{21}	θ_{22}	θ_{23}	θ_{24}	θ_{25}	θ_{26}	θ_{27}	θ_{28}	θ_{29}	θ_{30}
Σ	$1.0 \geq 0.0 \geq 0.0 \geq \dots \dots \dots \geq 0.0 \geq 0.0 \geq 0.0 \geq \dots \dots \dots \geq 0.0 \geq 0.0 \geq 0.0 \geq \dots \dots \dots \geq 0.0$																													
代替案	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}	a_{16}	a_{17}	a_{18}	a_{19}	a_{20}	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}	a_{25}	a_{26}	a_{27}	a_{28}	a_{29}	a_{30}
$\bar{\theta}$	0.0	0.373	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.627	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.627	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

(純粋次善解は a_7 または a_8 である。 $V_p = 3.00$)

検討すべき代替案群の範囲を決めることができる。比較すべき検討代替案は a_1, a_2, a_7, a_{10} であるが、これらの代替案がもつ a_8 より優れている評価項目について大きな関心を払うことが必要である。その評価項目については選ぼうとしている代替案よりも、良い評価値が存在するから、それらのもつ評価値水準と同等にまで達するような対策、実際には、第6章で論究するような補償、代替施設、説得等のいわゆる分権的達成の措置を考える指針を得るものと思われる。計画主体は、混合方略の性格から a_8 でなく、手順9) ①, ③により a_1 を選ぶことになって、計画主体はいま述べたことを考える必要がある。本方法は、こうした情報をも提供する点で実用的であるといえる。

4-5 結 語

土木施設を整備しようとするとき、計画主体の提示する代替案に対して好ましくないと評価する人たちがいる。この評価は、代替案提示に伴う評価者が関心を払う重みづけ評価項目の評価値の総和で行われるとした。計画者はこの総合評価値の大きい代替案を、そして評価者はこれを小さくするために重みづけをするとした。以上のことを評価値と間のゲーム問題として定式化し、この解を計画情報に用いた。計画主体が自分とは異なる立場から評価する評価者の存在を意識して、その評価者のつける重みは代替案によって変化するであろうとして計画主体が代替案の選択を行っているのが現実であると認識している。

つまり、土木施設計画の基本計画段階で、計画主体は、ペイオフ行列が得られても、その利得の総和の極大値をもつ代替案を選ぶことに迷うことがある。すなわち、計画主体は多くの評価者がどのような方略により代替案を評価してくるかは分からない。このような状況において、計画主体はあらかじめ何の行動基準をもたないよりも、なんらかの合理的な行動基準によって、その場合、最悪の状態を想定して意思決定を行った方がよいと考えられる。この意味で、本研究で提案したLFW法は、計画主体の意思決定のための1つの計画情報になる。

上述のゲーム問題のモデル解は、一般に混合方略である。これは唯一の代替案による最適解が常に存在するものでないことを示す。実際、代替案が計画主体にとって実施可能ならば、各立場の評価者のことを考えれば、このような解が出ることは計画者の選択のゆらぎを反映したともいえると思われる。

重みという最も不確実なものを与件値としてモデルに入れて、唯一最適解を求めるよりも一部分でも不確実なものは、不確実なものとしてモデルに反映させ、計画実施にあたって計画主体が何を行えばよいかの情報を多く得ることを見い出すことが重要なことと思うのである。

このように、本方法は従来の研究とは違った視点から、代替案評価の手法を提案したが、

今後の課題として、次のような諸点が列挙される。

- ① 解は、代替案と評価項目列挙に大きく依存する。したがって、代替案は、その計画を行わなかった場合を含めて、もれなく列挙しておく必要がある。そうでないと、このマトリックス空間のみでの解に終わる。
- ② ①と同様、評価主体、評価要因、評価項目ならびに指標値、あるいは評価値は慎重に選択、推計されねばならない。本研究では、例示的な意味もあって、評価値マトリックスの作成については、若干のコメントにとどめている。また例題では、効用値と評点マトリックスを用いている。これに対して、効用値の想定しうる最高値からの差をとった非効用値を用いることも考えられる。いずれにしても、このマトリックス自体に含まれる不確実性の処理も今後の課題となる。いまの段階では、これを確率変数として扱うか、2,3の評価値を上下に変動させた場合の感度分析を行うことを推奨する以外に案は見当らない。
- ③ 結果からみて、重みは評価値の小さい評価項目に大きくなる。これは実情にあっている。しかし、不確実性の程度を必ずしも反映していない。また、重みの変動幅（ゆれ動き）が0か1のようにかなり大きい。評価を安全側に見積り過ぎる傾向がある。
- ④ ここで選択された代替案は、他の評価基準の最適案と必ずしも一致するものではない。いくつかの方法と併用して、比較しながら意思決定の諸情報を得たり、新しい代替案の存在を探索する手法を開発することも今後の課題となる。
- ⑤ LFW法は、4-2-2ならびに4-3-1の問題意識から生まれている。したがって、LFW基準が適当かどうかは、計画のおかれている環境から個々に実際に則して模索されるべき課題であることを、特に強調しておきたい。

第4章参考文献

- 1) 建設省近畿地方建設局：総合評価手法に関する文献・資料，昭和53年10月。
- 2) 宮川公男編：PPBSの原理と分析，有斐閣，昭和44年11月。
- 3) Maass, A. et al. : Design of Water Resource Systems, New Techniques for Relating Economic Objectives, Engineering Analysis and Government Planning, Harvard University Press, 1962.
- 4) Marglin, S. A. : Public Investment Criteria, M. I. T. Press, 1967.
- 5) Arrow, K. J. : Social Choice and Individual Values, John Wiley and Sons, 1963.
- 6) 矢島 隆：マルチ・オブジェクティブの評価と意思決定(上),(下)，地域開発，7～8，pp. 67～80，pp. 59～67，1972年。

- 7) von Neumann, J. and O. Morgenstern : Theory of Games and Economic Behavior, Princeton University Press, 1947.
- 8) Schlaifer, R. : Analysis of Decisions and Uncertainty, McGraw-Hill, 1969.
- 9) Fishburn, P. C. : Utility Theory for Decision Making, ORSA, No.18, John Wiley and Sons, 1976.
- 10) Keeney, R. L. and H. Raiffa : Decision with Multiple Objectives : Preference and Tradeoffs, John Wiley and Sons, 1976.
- 11) Pearman, A. D. : Uncertainty and Transport Investment Decision, Proceedings of World Conference on Transport Research, Rotterdam, pp. 431~437, 1977.
- 12) 谷 明良・宮武信春 : 通勤経路選好特性の計量化手法, 土木学会論文報告集, 第267号, pp. 83~87, 1977 年.
- 13) 西村 昂・日野泰雄 : 複数目標を考慮した場合の代替案の評価について, 土木学会関西支部年次学術講演会講演概要, pp. IV-44-1~2, 昭和53年.
- 14) Zeleny, M. : The Attribute-Dynamic Attribute Model, Management Science, Vol. 23, No. 1, pp. 12~26, 1976.
- 15) Belenson, S. M. and K. C. Kapur : An Algorithm for Solving Multicriterion Linear Programming Problems with Examples, Operational Research Quarterly, Vol. 24, No. 1, pp. 65~77, 1973.
- 16) 伏見多美雄・山口俊和 : 複数の目標をバランスよく達成するための数理計画的な方法, 経営科学, 第19巻, 第2号, pp. 88~102, 1975 年.
- 17) Hill, M. : A Goal-Achievement Matrix for Evaluating Alternative Plans, Journal of the American Institute of Planners, Vol. 34, No. 1, pp. 19~29, 1968.
- 18) Bishop, A. B. : An Approach to Evaluating Environmental, Social, and Economic Factors in Water Resources Planning, Water Resources Bulletin, Vol. 8, No. 4, pp. 724~734, 1972.
- 19) Nijkamp, P. : A Multi-Criteria Analysis for Project Evaluation : Economic-Ecological Evaluation of a Land Reclamation Project, Papers of the Regional Science Association, Vol. 35, pp. 87~111, 1975.
- 20) Paelinck, J. H. P. : Qualitative Multicriteria Analysis : An Application to Airport Location, Environment and Planning A, Vol. 9, pp. 883~895, 1977.
- 21) 奥野忠一ほか : 多変量解析法, 続多変量解析法, 日科技連, 1971 年.
- 22) 安田三郎・海野道郎 : 改訂 2 版, 社会統計学, 丸善, 1977 年.

- 23) Baldwin, M.M., ed. : Portraits of Complexity, Applications of Systems Methodologies to Societial Problems, Battelle Monograph 9, June, 1975.
- 24) Dalkey, N.C. : The Delphi Method : RM-5888-PR, The RAND Corporation, Santa Monica, Cal., 1969.
- 25) 川喜多二郎・牧島信一編：問題解決学，KJ法ワークブック，講談社，昭和51年.
- 26) Fontela, E. : DEMATEL Report No. 2, Analytical Methods, Battelle, 1973.
- 27) 河村和彦：複雑な社会問題を取扱う一手法. Interpretive Structural Modeling, 計測と制御, 16-1, pp. 157~161, 1977年.
- 28) 科学技術と経済の会, 牧野 昇・白根禮吉編：ヤンツ技術の予測と計画, 日刊工業新聞社, 昭和46年.
- 29) Dantzig, G.B. : Linear Programming and Extensions, Princeton University Press, 1963.
- 30) Owen, G. : Game Theory, W.B. Saunders Co., 1968.
- 31) Keeney, R.L. and E.F. Wood : An Illustrative Example of the Use of Multiattribute Utility Theory for Water Resources Planning, Water Resources Research, Vol. 13, No. 4, pp. 705~712, 1977.
- 32) 長尾義三・浅岡 顕・若井郁次郎：総合評価の不確実性と代替案の決定, 第1回土木計画学研究発表会講演集, pp. 191~202, 1979年1月.
- 33) 長尾義三・浅岡顕・若井郁次郎：評価項目の重みの未知の場合の代替案総合評価法, 土木学会論文報告集, 第313号, pp. 89~100, 1981年9月.
- 34) 若井郁次郎：土木施設計画における代替案の総合評価に関する一考察, 京都大学環境衛生工学会第2回シンポジウム講演論文集, pp. 181~186, 昭和55年8月.

第5章 複数の評価者の存在を考慮した場合の不確実性下の 代替案の総合評価 — 代替案が明示できる場合 —

5-1 概 説

本章では、第3章、第4章と同様に、港湾・道路等の土木施設計画を総合評価問題として取り扱う。前章では、代替案が明示できなくて計画主体が複数の評価者の存在を考慮して不確実性下の代替案を総合評価したものだが、本章では、この場合複数の評価者が共通の利害のもとにいくつかのグループを形成し、明示された土木計画代替案の評価項目に対して異なった重みを与えて総合評価する場合を取り扱う。

さらに、総合評価により選定される代替案がすべてのグループの不満を解消するという保証はないことから、この点に着目して対立解消のプロセスを協力 n 人ゲームによって定式化する。この場合、「仁」の概念と「多人数パワーの原理」を導入し、代替案選定と対立解消の新たな方法論を提案する。この概念、原理は絶対的な基準となるとはいえないが、説得性（満足性）の高いものといえよう。

また、本章で提案した方法を道路計画に適用し、有効性と実用性について検討を行う。

5-2 代替案総合評価の問題認識と非零和 n 人ゲーム理論の適用

5-2-1 はじめに

土木施設の建設プロジェクトに関する代替案の作成および評価は、技術的・経済的側面はもとより、広く社会的影響・環境影響をも考慮に入れる必要がある。しかし社会は価値観の異なる多くのグループによって構成されているため、提示される代替案の評価は、これらグループの間で必ずしも一致をみないことは第4章でも述べたとおりである。すなわち、グループが異なれば、代替案評価の際の評価項目、評価値、評価基準等が異なるのでどのような案が提示されようとも、利害の不一致から発生するグループ間の対立は避けられない。したがって、代替案選定のプロセスでは、代替案の優劣を順位付けることもさることながら、重要な点は、グループの対立状況を明示的に取り扱い、対立を解消させる方策を発見するという視点も問題解決、プロジェクトのフィージビリティを高める一つの方策を見出すために必要である。本研究は、代替案選定の際に派生するであろう対立を意識して合理的に代替案を選定する方法を考察した。第4章で述べた代替案総合評価法¹⁾は代替案評価に際し、評価項目の重みがグループによって異なる、という着想からグループ間の利害の対立状況を取り扱った。しかし、選定される代替案がすべてのグループの不満を解消するという保証は考察されていなかった。本章では一歩進んで、グループ間の対立を解消させる方策をどのように

発見すればよいか、という点に重点を置き、代替案の総合評価と選定プロセスおよび対立解消のプロセスを協力 n 人ゲームによって定式化する。代替案を総合的に評価し選定するプロセスは、実際問題と照らし合わせて2通りの場合が考えられる。1つは、プロジェクトの実施によって影響されると考えられるすべてのグループを評価・選定プロセスに参加させる場合であり、他の1つは、関係グループの不安、社会・経済的混乱、政治的摩擦、土地への投機等を防ぐために最終代替案が選定されるまで案の公表を避ける場合である。前者の場合は考えられる代替案のすべては必然的に公開される結果となり、後者の場合は最終決定案のみが公開されることになる。いずれの方法を採用かはプロジェクトの性質によって判断されねばならないが、本研究ではすべての代替案が公表できる場合について考察している。

5-2-2 従来の研究と問題点

土木プロジェクトの計画に際しては、通常複数の代替案が策定され、前述した多側面からの総合評価がなされ代替案の順序付けが行われる。代替案の総合評価の合理的な手法は最近数多く提案されている。²⁾⁻¹³⁾ これらについては第4章¹⁾でも触れているので詳細は省略するが、以下のような欠点をもっている。

1) 複数の目的が考慮されているが、同時に多数の利害グループの存在の取り扱いが十分でない。

2) Keeney¹¹⁾の多属性効用理論にみられるように、異なる評価者を前提としてはいるものの、グループ同士の統一効用関数といったものの存在の主張は、理論的に疑問が残されているし、実用性の面からも困難な点が多い。

3) プロジェクトに関係するグループがそれを実施された後にどのような利益を受けるのか明示的でない。

4) 現実には、代替案の評価や選定のプロセスで関係するグループは互いに対立したり、協調したりする。このような状況が方法論に取り入れられていない。

5) 計画の実施に際しては、不利益を被るグループに不公平が生じないように補償や対策が考慮されているが、これらは計画代替案の評価・選定のプロセスで明示的に取り扱われていない。

6) 計画案の実施が、なぜ社会的により好ましい選択であったのかを説明しえていない。すなわち、厚生経済学でいうところのパレート最適の概念や公正な分配の概念が代替案評価・選定プロセスの中で示されていない。

以上に示したように、従来の計画案の総合評価手法はきわめて部分的であったり、実用的でなかったりする面が多い。これらに対し、鈴木¹⁴⁾は総合評価には触れていないがRawls, J.¹⁵⁾の「寛容の原理」、Schmeidler, D.¹⁶⁾の「仁」の概念を計画案選定に考慮すべきであると

主張している。本章はSchmeidler, D.¹⁶⁾の「仁」の概念と、新たに考えた「多人数パワーの原理」を用いて代替案選定と対立解消の方法論を提案する。

5-2-3 計画の背景と定式化の前提条件

ある地域に土木施設計画の必要性が生じたとき、場所、規模、構造物のタイプ等を含めて一般に複数の代替案が考え出される。しかし、社会を構成する価値観の異なるグループは、これらの代替案を評価した結果、現状のままの方がよいと望む場合もありうる。したがって、「現状のまま」という選択も含めて1つの代替案と考えれば、社会の構成グループの合意の結果、計画そのものを否定する、という決定も1つの選択である。さて、複数の代替案のうち、自己にとって好ましくないという理由から、ある代替案を否定しようとする気持とは別に、その案の実施によってより良い結果が得られる保証があるならば、賛成してもよいと考えるグループも存在する。自分の好む代替案の実施が困難なとき、他の代替案はすべて反対だとするのではなく、他の代替案の実施によって受ける効用のほかに、別に効用の分配を受けて互いに納得のできる方法があるならばその代替案の実施に協力してもよいと考える。このような方法は、社会福祉と厚生目標、すなわち、効用の増大、安定、公正の3つを希求する方法である。この点を考慮すると本章で扱う計画のおかれている背景は以下に列挙するとおりであり、これは同時に本研究の前提条件となるものである。

1) 地域で必要とする土木施設計画に対して、反対、賛成を含めて異なった評価を行う複数のグループが存在する。この個々のグループを、以後、評価主体または計画への参加者という。

2) 技術的・予算的制約を満たし、かつ環境基準等を満足する実施可能な代替案は、現状のまま何もしないという案を含めて複数個あるものとする。

3) 評価主体は、代替案を評価する要因（評価要因）に基づいて複数の評価項目をもつ。評価項目の種類および個数は評価主体間で同じであっても異なってもよい。

4) 各評価主体は、すべての代替案を自己のもつすべての評価項目について評価することができ、評価値マトリックスを作成することができる。この評価値の設定法については本研究の目的ではないので詳述しないが、von Neumann & Morgenstern¹⁷⁾に始まり、Schlaifer¹⁸⁾、Fishburn¹⁹⁾、Keeney¹¹⁾らによって展開されている効用概念を適用する。このとき、評価値は実数で与えられ、任意の分割が可能であるとする。

5) ある代替案に対する、ある評価主体の総合評価値は、上述の各評価項目に対応する評価値の線形結合で与えられるものとする。ただし、線形結合は、各評価主体ごとに固有の結合が唯一存在するものとする。以後、この総合評価値はゲーム理論にならって「利得」と呼ぶことにする。

6) 評価値および利得は、すべての評価主体にとって意味ある値とし、異なる評価主体間で何らの制限なしに自由に移転が可能で、授受する当事者間で同等の価値（同値）であるとする。

7) すべての評価主体は互いに他の評価主体の「利得」について完全な情報をもっているものとする。

8) 計画の評価主体は、単に個人的関係として計画に係わるだけでなく、集団として計画に参加することもできる。この集団は、計画案の評価に際して「統一行動」を取ることであり、個々に行動するよりも有利な結果が得られる場合に成り立つ。このような統一行動は、共同戦線、企業系列グループ等他の面でも多くの例をみることができる。以後、このような評価主体が形成する統一行動グループを「提携」と呼ぶことにする。

5-2-4 非零和 n 人ゲームとしての定式化

(1) 記号および定義

a) 評価主体およびその集合

5-2-3 1)の前提から計画に関係する評価主体の名称を $1, 2, \dots, k, \dots, n$ と呼び評価主体の集合を N とする。すなわち、

$$N = \{1, 2, \dots, k, \dots, n\} \dots\dots\dots (5-2-1)$$

b) 代替案およびその集合

5-2-3 2)の前提から、考察された実行可能な代替案を $a_1, a_2, \dots, a_j, \dots, a_m$ と名付ける。前述したように「現状のまま何もしない」という代替案を a_0 とし、これらすべての代替案集合を A とする。すなわち、

$$A = \{a_0, a_1, \dots, a_j, \dots, a_m\} \dots\dots\dots (5-2-2)$$

c) 評価項目およびその集合

5-2-3 3)で述べた前提から、任意の評価主体 k は独自の評価項目の名称を $\theta_1^k, \theta_2^k, \dots, \theta_i^k, \dots, \theta_{L_k}^k$ と名付け、その集合を Θ^k とする。すなわち、

$$\Theta^k = \{\theta_1^k, \theta_2^k, \dots, \theta_i^k, \dots, \theta_{L_k}^k\} \dots\dots\dots (5-2-3)$$

$$(k=1, 2, \dots, n)$$

d) 評価値関数および利得

5-2-3 4)で述べたように、すべての評価主体は各評価項目ごとにそれぞれの代替案に対し実数で表わされた評価値を設定することができる。このことは、任意の評価主体 k は評価項目集合 Θ^k と代替案集合 A の上で定義された1価の実数値集合関数を唯一もつことを意味する。すなわち、

$$u_{ij}^k = u^k(\theta_i^k, a_j) \text{ defined on } \Theta^k \times A \dots\dots\dots (5-2-4)$$

$$(i = 1, 2, \dots, L_k)$$

$$(j = 0, 1, \dots, m)$$

$$(k = 1, 2, \dots, n)$$

これより、5-2-3 4)で述べた評価値マトリックスは、評価主体 k について、 $(L_k \times m)$ 型の実数値マトリックスとなり、その (i, j) 要素は u_{ij}^k で与えられる。このマトリックスは評価主体の数 $[N]$ だけ作成される。本研究では5-2-3 4)で述べたように評価値は効用で与えられるものと仮定しているので評価値マトリックスは効用マトリックスと考える。さらに、5-2-3 5)で述べた仮定から、評価主体 k の代替案 a_j に対する総合評価値、すなわち、利得 $U^k(a_j)$ は u_{ij}^k の線形結合で与えられ、 u_{ij}^k への重みを λ_i^k とする。よって、

$$U^k(a_j) = \sum_{i=1}^{L_k} \lambda_i^k u_{ij}^k \dots\dots\dots (5-2-5)$$

$$(j = 0, 1, \dots, m, k = 1, 2, \dots, n)$$

ただし、重みベクトル

$$\lambda^k = \{ \lambda_1^k, \lambda_2^k, \dots, \lambda_i^k, \dots, \lambda_{L_k}^k \} \dots\dots\dots (5-2-6)$$

は評価主体 k に固有で唯一存在し、次の2つの条件を満たす。

$$\left. \begin{array}{l} \sum_{i=1}^{L_k} \lambda_i^k = 1 \\ 0 \leq \lambda_i^k \leq 1 \end{array} \right\} \dots\dots\dots (5-2-7)$$

式 (5-2-4) からたとえば評価主体 k についての効用マトリックスは表5-2-1のよう

表5-2-1 効用マトリックス

$\theta^k \backslash \lambda$ A		a_0	a_1	$\dots\dots$	a_j	$\dots\dots$	a_m
θ_1^k	λ_1^k	u_{10}^k	u_{11}^k	$\dots\dots$	u_{1j}^k	$\dots\dots$	u_{1m}^k
\vdots	\vdots	$\dots\dots\dots$					
θ_i^k	λ_i^k	u_{i0}^k	u_{i1}^k	$\dots\dots$	u_{ij}^k	$\dots\dots$	u_{im}^k
\vdots	\vdots	$\dots\dots\dots$					
$\theta_{L_k}^k$	$\lambda_{L_k}^k$	$u_{L_k 0}^k$	$u_{L_k 1}^k$	$\dots\dots$	$u_{L_k j}^k$	$\dots\dots$	$u_{L_k m}^k$
総 効 用		$U^k(a_0)$	$U^k(a_1)$	$\dots\dots$	$U^k(a_j)$	$\dots\dots$	$U^k(a_m)$

に与えられ、式 (5-2-5) から利得マトリックスがたとえば表5-2-2に示すように与えられる。5-2-3 6)で述べた仮定は表5-2-2で、任意の評価主体 k にとっての利得の大きさ U^k は他の任意の評価主体 k' にとっても同一の価値をも

つ、という仮定である。すなわち、 U^k と $U^{k'}$ が $U^k = U^{k'}$ であれば k と k' にとって同じ効用の大きさを意味する、という仮定である。この仮定は個人間の効用は等ウェイトで比較しうることを意味し、効用の個人間の交換性が何らかの手段で達成できるという仮定である。こ

の仮定については議論の残るところであるので後に再度触れる。5-2-3 7)の前提は表5-2-1, 表5-2-2のようなマトリックスをすべての評価主体がお互いに完全な知識として持っているということを意味している。

表5-2-2 評価主体の利得マトリックス

$N \backslash A$						
	a_0	a_1	.....	a_j	.....	a_m
1	U_0^1	U_1^1	.....	U_j^1	.....	U_m^1
2	U_0^2	U_1^2	.....	U_j^2	.....	U_m^2
.					
k	U_0^k	U_1^k	.....	U_j^k	.....	U_m^k
.					
n	U_0^n	U_1^n	.....	U_j^n	.....	U_m^n

(2) 多人数パワーの原理と提携

5-2-3 8)で述べたように、評価主体は個々の計画案の評価者として参加することよりも集団として参加する方が有利である場合、集団として統一行動を取る。この集団を提携と呼ぶ。評価主体の集合が N のとき、提携は N の部分集合 S として定義できる。提携の形成に際して何の制約もない場合、可能な提携の数は空な提携 \emptyset を含めると $2^{[N]}$ 個となる。この可能な提携の集合を \mathbf{S} とする。定義から $S \in \mathbf{S}$ は要素が1つ、すなわち、評価主体そのものを意味する場合も含まれている。換言すれば、任意の評価主体は1つの提携と考えられる。さて、評価主体が提携を形成しようとする場合、計画案の評価に際して単独で行動することよりもより大きな力が得られる場合である。したがって、何らかの方法でこの提携の力を定義する必要がある。提携 S の力はゲーム理論では提携値 $v(S)$ と呼ばれ、特性関数として定義されている。この特性関数はゲームの理論ではゲームのルールを規定することであり、個々の具体的なゲームの内容によって異なる。本研究での計画案評価の問題では、評価主体全員が構成する社会の構成員相互の価値関係を規定するものでもある。鈴木¹⁴⁾が述べているように、理想主義者は S を1つのグループと考えたとき、健康で文化的な最低限度の生活水準をグループとして営むに足る値として $v(S)$ を定義するかもしれない。あるいは、現実主義者は、 $v(S)$ は S だけの力で他の助けを借りずに確保することのできる生活水準を示す値と定義するかもしれない。計画案評価の問題では、各評価主体は提示された代替案（何もせずに現状のままで放置するという案も含めて）のうち、自己の利益が最大となる案を決定したいと考えるであろう。この状況は、計画案の評価主体が互いに提示された代替案集合 A を自己の戦略として保持しており、計画の実施によって自己の得られる利得を最大化しようとするゲームと考えることができる。ゲーム状況を構成する最大の理由は、各代替案によって得られる利得が評価主体間で異なり同一であることがほとんどない、というところに存在する。ここに計画案の選定に際しての対立や提携の構成の根拠をみることができる。仮に、すべて

の代替案についてすべての評価主体が同一の利得を共有することができるならば、評価主体間の競合は存在しえず誰かの利得を最大にする案は同時に全評価主体の利得を最大にする。これは、従来考えられていた社会を1つの評価主体とみなした利得最大化あるいは損失最小化の計画法であり、異なる価値観をもつ多くの評価主体で構成される社会にあっては受け入れられるものではない。以上のように考えると、提携 S の提携値 $v(S)$ は、次のように定義できる。すなわち、提携 S にとって最も不利な状況を考えたとき、それでもなおかつ確保することのできる最大の利得は、 S にとっての最低保証水準と考えることができる。しかし、 S にとっての最低保証水準は S 以外の提携の行動によって左右されるのが通常である。そこで S にとって最も不利な状況を想定すると、それは、 S を構成する評価主体以外のすべての他の評価主体が1つの提携を構成し S と敵対する場合である。この敵対する仮定の提携は集合論的には、 S の補集合 \bar{S} として定義できる。すなわち、

$$S + \bar{S} = N \quad \dots\dots\dots (5-2-8)$$

さて、すでに述べたように、提携 S の利得は提携 \bar{S} の行動によって左右される。このことをまず、定式化する。提携 S および \bar{S} は互いに自分達のもっている代替案集合 A のうちの任意の案を主張することができる。主張できる代替案の組を最も一般的に表現する方法は確率化代替案 (Randomized Alternative) であり、 $a_j \in A$ を任意の確率 δ_j で用いる方法である。いま、提携 S は A 上で定義された確率法則 δ^S を用い、提携 \bar{S} が $\delta^{\bar{S}}$ を用いるとすると、それぞれに期待される利得 \bar{U}^S および $\bar{U}^{\bar{S}}$ は次式で与えられる。

$$\bar{U}^S(\delta^S, \delta^{\bar{S}}) = \sum_{j=0}^m U^S(a_j) \delta_j^S \delta_j^{\bar{S}} \quad \dots\dots\dots (5-2-9)$$

$$\bar{U}^{\bar{S}}(\delta^S, \delta^{\bar{S}}) = \sum_{j=0}^m U^{\bar{S}}(a_j) \delta_j^S \delta_j^{\bar{S}} \quad \dots\dots\dots (5-2-10)$$

ただし、 $U^S(a_j)$ および $U^{\bar{S}}(a_j)$ は提携 S および \bar{S} が代替案 a_j から得られる利得を意味し、提携を構成する評価主体の利得の和で与えられる。すなわち、

$$U^S(a_j) = \sum_{k \in S} U^k(a_j) \quad \dots\dots\dots (5-2-11)$$

$$U^{\bar{S}}(a_j) = \sum_{k' \in \bar{S}} U^{k'}(a_j) \quad \dots\dots\dots (5-2-12)$$

また、 δ^S および $\delta^{\bar{S}}$ は S および \bar{S} が A 上で用いる確率法則を意味する。すなわち、

$$\left. \begin{aligned} \delta^S &= \{ \delta_0^S, \delta_1^S, \dots, \delta_j^S, \dots, \delta_m^S \} \\ \sum_{j=0}^m \delta_j^S &= 1, \quad 0 \leq \delta_j^S \leq 1 \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (5-2-13)$$

$$\left. \begin{aligned} \delta^{\bar{S}} &= \{ \delta_0^{\bar{S}}, \delta_1^{\bar{S}}, \dots, \delta_j^{\bar{S}}, \dots, \delta_m^{\bar{S}} \} \\ \sum_{j=0}^m \delta_j^{\bar{S}} &= 1, \quad 0 \leq \delta_j^{\bar{S}} \leq 1 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5-2-14)$$

式(5-2-9)および(5-2-10)は S と \bar{S} がそれぞれ自分達の戦略 δ^S および $\delta^{\bar{S}}$ を用いたときに S と \bar{S} が得られるペイ・オフを決めていることになる。

ところで、提携 S にとって \bar{S} が敵対した場合に得られる最低保証水準が提携値 $v(S)$ であると述べたが、この最低保証水準は提携 S と \bar{S} の相互の力関係によって規定される。この力関係を規定する原理として多人数パワーの原理(Majority Power Rule: M. P. R.)を本研究で提案する。いま、提携 S と \bar{S} を構成する評価主体の数を $[S]$ および $[\bar{S}]$ で表わすとM. P. R.は以下のように定義できる。

(i) $[S] > [\bar{S}]$ のとき、そのときに限り S は \bar{S} より大きな力をもつ。

このとき、 S は \bar{S} に対し自分達の主張する代替案が多数の支持を受けていることを理由に多数決原理(Principle of Decision by Majority: P. D. M.)で決定できるという「主張」を前面に出すことができる。ここでM. P. R.がP. D. M.と異なるのは単に多数決原理を戦術として使えるという「主張」であってこの原理で決定しようとするルールではないことに注意すべきである。つまり、M. P. R.は多数決原理で「決定の場」での優位さを確保しようとする行動を表現するもので決定ルールそのものではない。提携 S が \bar{S} に対し優位さを確保できる場合、 S は自分達の利得を最大にする案を主張するであろうし、その最大利得を「決定の場」における最低保証水準と考えるであろう。したがってこの場合の提携値 $v(S)$ は式(5-2-9)より次式で定義できる。

$$v(S) = \max_{\delta^S \in A} \sum_{j=0}^m U^S(a_j) \delta_j^S = \max_{a_j \in A} U^S(a_j) \dots\dots\dots (5-2-15)$$

上式で A は δ の集合を意味し、 $\delta_j^{\bar{S}} = 1.0 (j=0, 1, \dots, m)$ としている理由は S の「主張」によって \bar{S} が自分達の戦略 $\delta^{\bar{S}}$ を自由に選択できず S の用いる戦略 δ^S に支配されることを意味している。

(ii) $[S] = [\bar{S}]$ のとき、そのときに限り S と \bar{S} の力は対等である。

この場合は、 S は \bar{S} に対して「主張」の戦術を使うことができず「決定の場」ではまったく対等である。したがって S と \bar{S} は確保できる利得の最低水準の最大化を考え、このときの利得を最低保証水準と考えるであろう。すなわち、

$$v(S) = \max_{\delta^S \in A} \cdot \min_{\delta^{\bar{S}} \in A} \sum_{j=0}^m U^S(a_j) \delta_j^S \delta_j^{\bar{S}} \dots\dots\dots (5-2-16)$$

(iii) $[S] < [\bar{S}]$ のとき、そのときに限り S は \bar{S} より力が小さい。

この場合はi)の場合の逆で、 S は \bar{S} の「主張」に対して自由に自分達の戦略を用いることはできず、 \bar{S} の戦略 $\delta^{\bar{S}}$ に支配される。 \bar{S} は当然自分達の利得を最大化する案を主張するのでその場合の S の獲得できる利得は

$$v(S) = \sum_{j=0}^m U^S(a_j) \delta_j^{\bar{S}} = U^S(a_*^{\bar{S}}) \dots \dots \dots (5-2-17)$$

ただし、 $\delta_j^{\bar{S}}$ は \bar{S} の利得を最大化する場合の戦略で次式より求められる $a_*^{\bar{S}}$ で退化する確率分布である。

$$\max_{\delta^{\bar{S}} \in \mathbf{A}} \sum_{j=0}^m U^S(a_j) \delta_j^{\bar{S}} = \max_{a_j \in \mathbf{A}} U^S(a_j) = U^S(a_*^{\bar{S}}) \dots \dots \dots (5-2-18)$$

5-3 協力 n 人ゲームを適用した代替案選定と補償による合意形成（JMPR法）

Rawls, J. は分配の公正¹⁵⁾のなかで寛容の原理(Principle of Justice)として最悪の状態にある人をできるだけ良くしようということを提案しているが、これとSchmeidler, D. の「仁(Nucleolus)¹⁶⁾」の概念を用いて鈴木¹⁴⁾は提携 S に着目し、提携 $S \in \mathbf{S}$ のうち最大の不満をもつ提携のその不満を最小化する計画を「寛容の精神に基づく仁による計画」と述べている。本研究では、先に述べた M. P. R. をこれに導入して、代替案を選定する方法(M. P. R. に基づく公正による計画: Justice based on Majority Power Rule—以後 JMPR法と呼ぶ)を提案し、さらに補償による合意形成の方法について述べる。提携の形成に何の制限もない場合は 2^N 個の提携を考えることができた。また、これらの個々の提携についての提携値はすでに定義した。いま、任意の提携 $S \in \mathbf{S}$ について考えると、代替案 $a_j \in \mathbf{A}$ が実施された場合、 S の利得は $U^S(a_j)$ で与えられるが、提携 S は $v(S)$ を最低保証水準と考えており

$$D(S|a_j) = v(S) - U^S(a_j) \dots \dots \dots (5-3-1)$$

を不満と考える。 $U^S(a_j) > v(S)$ の場合は余剰を意味する。「寛容の精神に基づく仁」では、このような不満をすべての提携について考え、最大の不満を最小化(剰余の場合は最小の剰余を最大化)する代替案を選定する。すなわち、

$$\min_{a_j \in \mathbf{A}} \max_{S \in \mathbf{S}} [v(S) - U^S(a_j)] \dots \dots \dots (5-3-2)$$

subject to

$$\sum_{k \in N} U^k(a_j) > \sum_{k \in N} U^k(a_0) \dots \dots \dots (5-3-3)$$

式(5-3-3)の制約条件は、選定される案がもたらす社会全体の利得が現状を上回ってなければならないという意味でプロジェクト実施の動機を表現したものである。この解は唯一

存在する。まず、式(5-3-3)を満たす代替案群のうち、式(5-3-2)の解を求め、解が2つ以上存在するときは、それらの案のうち、2番目に多い不満量に着目し、これを最小化する案を探す。剰余の場合は、2番目に少ない剰余に着目し、このうち、最大剰余をもたらす案を求める。以下、同様の考え方で「仁」を逐次適用すれば解は唯一求まる。さて、式(5-3-2)で与えられる「仁」によって選定された代替案を a^* とすると、各評価主体 $\{1, 2, \dots, k, \dots, n\}$ にはまったく不満は残らないであろうか？ 以下、この点について考えてみる。

a^* が実施された場合、評価主体 $k \in N$ の得る利得は $U^k(a^*)$ である。しかるに、評価主体 $k \in N$ は独力で獲得できる最低の保証水準は、 $\bar{k} = \{1, 2, \dots, k-1, k+1, \dots, n\}$ とすれば式(5-2-17)より次式で与えられる $v(k)$ と考えている。

$$v(k) = U^k(a^{*\bar{k}}) \dots\dots\dots (5-3-4)$$

ただし、 $a^{*\bar{k}}$ は次式を満たす代替案である。

$$\max_{a_j \in A} U^{\bar{k}}(a_j) = \max_{a_j \in A} \sum_{k' \in \bar{k}} U^{k'}(a_j) \dots\dots\dots (5-3-5)$$

したがって、評価主体 k はなおかつ、 $v(k) > U^k(a^*)$ の場合に

$$D(k) = v(k) - U^k(a^*) \dots\dots\dots (5-3-6)$$

なる不満をもつであろう。そこで再び「仁」の概念を用いて、各評価主体への理想的な配分を求め、これに基づいた補償を考えることによって不満を解消することを考えよう。

式(5-3-2)に基づいて代替案 a^* が選定されたとき、計画の参加者 $\{1, 2, \dots, n\}$ が得るトータルの利得は $\sum_{k \in N} U^k(a^*)$ である。この利得は a^* の実施によって得られる社会全体の利得である。これを $U^N(a^*)$ で表わす。さて、計画の評価主体 $k \in N$ に配分されるべき最終利得を $x(k)$ とすると、 $x(k)$ ($k=1, 2, \dots, n$)は次式を満たさなければならない。

$$\sum_{k \in N} x(k) = U^N(a^*) \dots\dots\dots (5-3-7)$$

および

$$x(k) \geq U^k(a_0) \dots\dots\dots (5-3-8)$$

式(5-3-7)はパレート最適性の条件を示し、式(5-3-8)は個人的合理性の条件を示している。配分が現状 $U^k(a_0)$ より大きいという制約は、社会全体の利得を拡大させる結果が特定の評価主体の犠牲のもとで行われてはならないことを意味する。式(5-3-7)、(5-3-8)を用いた「仁」の解は、式(5-3-7)、(5-3-8)の制約下で

$$\max_x \cdot \min_{k \in N} \{x(k) - U^k(a_0)\} \dots\dots\dots (5-3-9)$$

によって与えられる。これは最小の剰余しか得られない評価主体に着目し、できる限りこれを大きくしようとする配分であり、この解は必ず存在する。なぜなら、式(5-3-3)の制約によって

$$\sum_{k \in N} x(k) = U^N(a^*) > U^N(a_0) = \sum_{k \in N} U^k(a_0) \dots\dots\dots (5-3-10)$$

を満たすからである。上式が満たされるので式(5-3-9)は式(5-3-2)の解と同様の考え方によって必ず唯一の解が存在する。さて、式(5-3-9)の解を $x^*(k)$ ($k=1, 2, \dots, n$)とすると、 $x^*(k)$ と $U^k(a^*)$ の差

$$c(k) = x^*(k) - U^k(a^*) \dots\dots\dots (5-3-11)$$

は「公正」を達成するための補償と考えることができる。 $c(k) > 0$ は補償を受け、 $c(k) < 0$ は補償を出すことを意味する。社会全体での正負の補償は当然相殺される。なぜなら、式(5-3-10)の最左辺の関係と式(5-3-11)から、

$$\sum_{k \in N} c(k) = \sum_{k \in N} x^*(k) - \sum_{k \in N} U^k(a^*) = 0 \dots\dots\dots (5-3-12)$$

となるからである。ところで、ここで定義した補償は効用タームでの定義であり、評価主体間での効用の交換を直接の行為に移すことは実際上問題がある。現実には、補償は貨幣のほか身替り代替財や労働の提供といった形で行われるのが普通で、ここに示した定式化は、これらの補償の前提となっている「社会的公正」の考え方を代替案選定と合意形成の場で示すことが目的であり、効用タームでの $c(k)$ に相当する「補償の具体的方策」は今後の研究課題である。

さて、以上のような2段階の手続き、すなわち、「寛容の仁」によって代替案をまず選定し、さらに「補償」によって合意を形成する、といった手続きは、現実の合意形成のプロセスをできる限り忠実にモデル化しようとするところから考えられたもので、「補償を前提とした代替案選定プロセス」をモデル化したものではない。後者の場合は、当然、社会的利得 $U^N(a_j)$ を最大化する案を選定して公正な配分 $x(k)$ を求めることが合理的となり、「妥当な補償の考え方」を示すモデルとなる。しかし、その場合に注意すべきことは、「補償が前提となる案の選定」は根本的な各案の評価の方法を変えてしまう可能性がある点である。すなわち、各案に対する評価の段階で「補償を有利に導くためにはどのような評価をしておけばよいか」といった形で、評価そのものがゲームの1つの戦略になってしまう可能性である。現実には、このような場合もありうるので、別の機会にそのモデル化を考えたい。

5-4 適用例と考察

5-4-1 例題の背景

ある地方行政体（ G ）が予想される将来の交通事情の悪化に対し、図5-4-1に示す a_0 のような既存の道路について、通過交通を分離しようという意図から a_1 のような高架道路を計画した。しかし、沿道地域住民（ R ）や自動車利用者（ U ）の益、不益を考えて広い立場からより良い案を選定しようと考え、既存道路の拡幅案（ a_2 ）、緩衝緑地付拡幅案（ a_3 ）、掘割案（ a_4 ）、トンネル案（ a_5 ）を追加し、 G 、 U 、 R の代表からなる検討会を発足させ、案の評価、選定を実施することにした。以上が例題の背景である。前述したように、考案されている案は $\{a_1, \dots, a_5\}$ の5案であるが、この計画そのものが否定される場合も考えて、現状のまま、という案を a_0 として選択対象とすることができる。

よって、代替案集合 A は

$$A = \{a_0, a_1, \dots, a_5\}$$

である。また、計画の参加者は計算を簡単化するために、地方行政体（ G ）、自動車利用者（ U ）および沿道地域住民（ R ）の3グループのみを取り上げているので、今の場合、計画の参加者の集合 N は

$$N = \{G, U, R\}$$

である。

5-4-2 評価主体による評価の手続

各評価主体を G 、 U 、 R と考えた場合、それぞれの評価主体は独自の立場から計画案を評価する。そのために各評価主体は自分達の計画案評価に際しての目的の階層構造を検討し、図5-4-2～4のような目的階層構造を作成した。図5-4-4に示すように、行政体は広く自動車利用者および沿道地域住民の立場も考え、 U および R の目的をも取り入れる形で考えている。このような目的の階層構造の作成の意図は、独立な評価項目の選定と後述する評価項目間の相対的ウェイトの作成に役立たせるためである。さて、図5-4-2～4を用いて目的

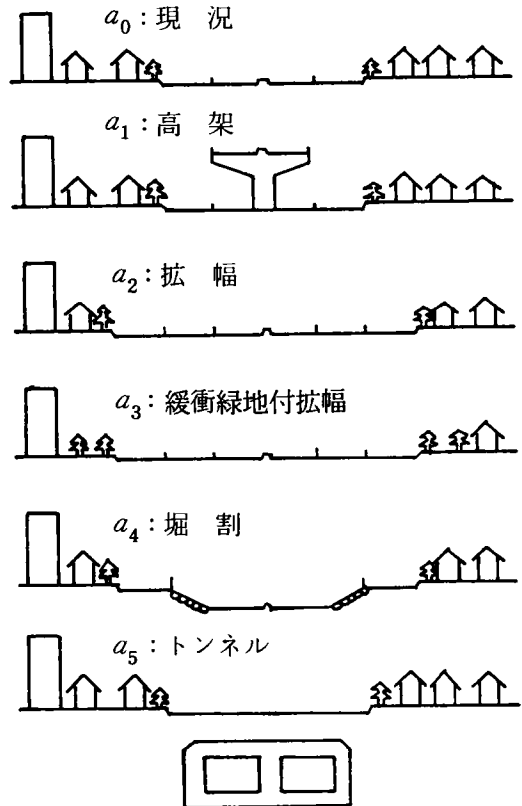


図5-4-1 道路整備計画の代替案

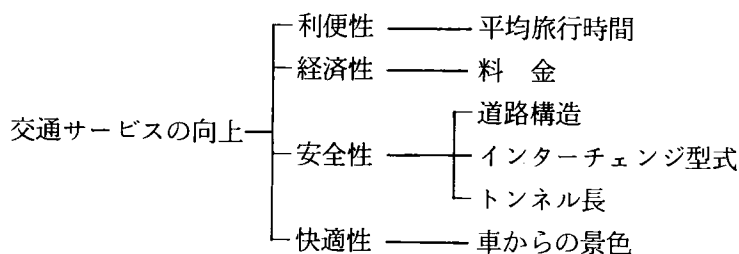


図 5-4-2 自動車利用者の目的階層構造

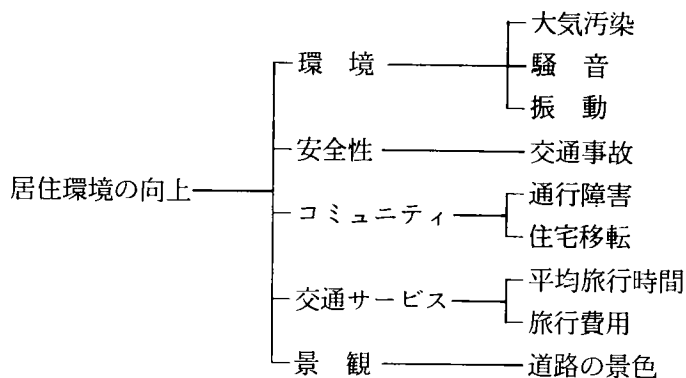


図 5-4-3 沿道地域住民の目的階層構造

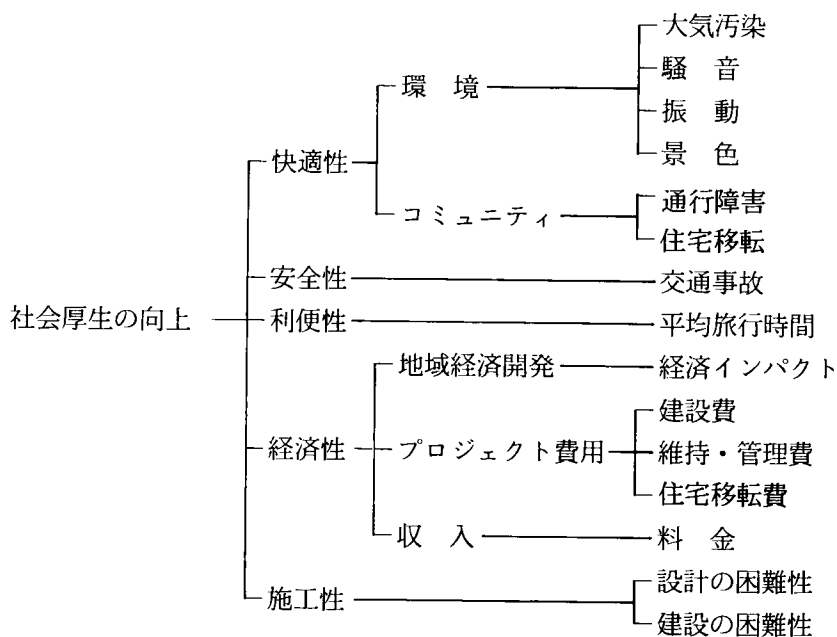


図 5-4-4 地方行政体の目的階層構造

階層の最下位に位置する項目をそれぞれの評価主体の評価項目とする。 U は6項目、 R は9項目、 G は15項目である。これらの評価項目に照らし、案 $a_0 \sim a_5$ を比較して最も望ましい状態を10、最も望ましくない状態を0として評点を付けたのが表5-4-1～3である。表5-4-3において G が U および R の評価項目に関しては彼らの評点をそのまま自分達の評点としているのは計画立案者の立場、行政体としての立場から U および R の立場を自分達の共通

表5-4-1 自動車利用者の効用マトリックス

λ^*	評価項目	代替案	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
0.40	θ_1^U	平均旅行時間	0	10	5	5	7	9
0.20	θ_2^U	料 金	10	5	10	10	3	0
0.15	θ_3^U	道 路 構 造	0	10	0	0	10	10
0.06	θ_4^U	インターチェンジ	10	0	10	10	8	4
0.09	θ_5^U	ト ン ネ ル 長	10	10	10	10	10	0
0.10	θ_6^U	車からの景色	9	2	9	10	0	0
総 効 用			4.4	7.6	6.4	6.5	6.18	5.34

表5-4-2 沿道地域住民の効用マトリックス

λ^*	評価項目	代替案	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
0.12	θ_1^R	大 気 汚 染	0	2	1	5	3	6
0.24	θ_2^R	騒 音	3	0	1	5	7	6
0.04	θ_3^R	振 動	1	8	0	5	8	7
0.10	θ_4^R	交 通 事 故	7	5	1	0	10	5
0.06	θ_5^R	通 行 障 害	10	10	8	8	5	10
0.24	θ_6^R	住 宅 移 転	10	10	3	0	2	10
0.05	θ_7^R	平均旅行時間	0	10	5	5	7	9
0.05	θ_8^R	旅行費用(料金)	10	5	10	10	3	0
0.10	θ_9^R	道 路 の 景 色	9	0	9	10	5	9
総 効 用			5.86	4.81	3.31	4.23	5.14	7.25

表 5-4-3 地方行政体の効用マトリックス

λ^k	代替案 評価項目		a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
0.025	θ_1^G	大 気 汚 染	0	2	1	5	3	6
0.025	θ_2^G	騒 音	3	0	1	5	7	6
0.025	θ_3^G	振 動	1	8	0	5	8	7
0.025	θ_4^G	景 色	9	0	9	10	5	9
0.010	θ_5^G	通 行 障 害	10	10	8	8	5	10
0.090	θ_6^G	住 宅 移 転	10	10	3	0	2	10
0.050	θ_7^G	交 通 事 故	7	5	1	0	10	5
0.400	θ_8^G	平均旅行時間	0	10	5	5	7	9
0.060	θ_9^G	経済インパクト	0	10	4	4	6	10
0.072	θ_{10}^G	建 設 費	10	10	10	10	5	0
0.036	θ_{11}^G	維持・管理費	10	10	10	10	5	0
0.072	θ_{12}^G	住 宅 移 転 費	10	10	0	0	5	10
0.060	θ_{13}^G	料 金	0	10	0	0	7	8
0.025	θ_{14}^G	設計の困難性	10	4	10	10	6	2
0.025	θ_{15}^G	建設の困難性	10	0	8	8	0	0
総 効 用			3.98	8.45	4.45	4.41	6.19	6.20

の立場にしようとするからであり、建設費を現状で10としているのは、当初 a_1 の計画案での建設費を見込んで計画していたために a_1 で10という評価を下し、それ以下の建設費に対しては効用の増大を感じない、という理由による。次に各評価主体は評価項目間の相対重要度 λ_i^k を総和が1.0となるように決定する。この場合、評価項目が多くなると相対的重要度の割り振りが不可能なほど困難である。そこで、図 5-4-2～4 に示したような目的階層構造を用いてレベルの高い目的（数は一般に少ない）間で相対重要度を決め、順次、下位の目的間の相対重要度に下ろしてゆけば、たとえば、図 5-4-5 のように多くの評価項目があってもそれらの相対的重要度を決定できる。例示した図 5-4-5 において、走行時間（travel time）に G が大きなウェイトをかけているのは、計画そのものの動機を計画案の評価のなかで強調するためと考えられる。

5-4-3 代替案選定のプロセス

前述した要領で評価項目の相対重要度が求まると、表 5-4-1～3 の評価値マトリックス

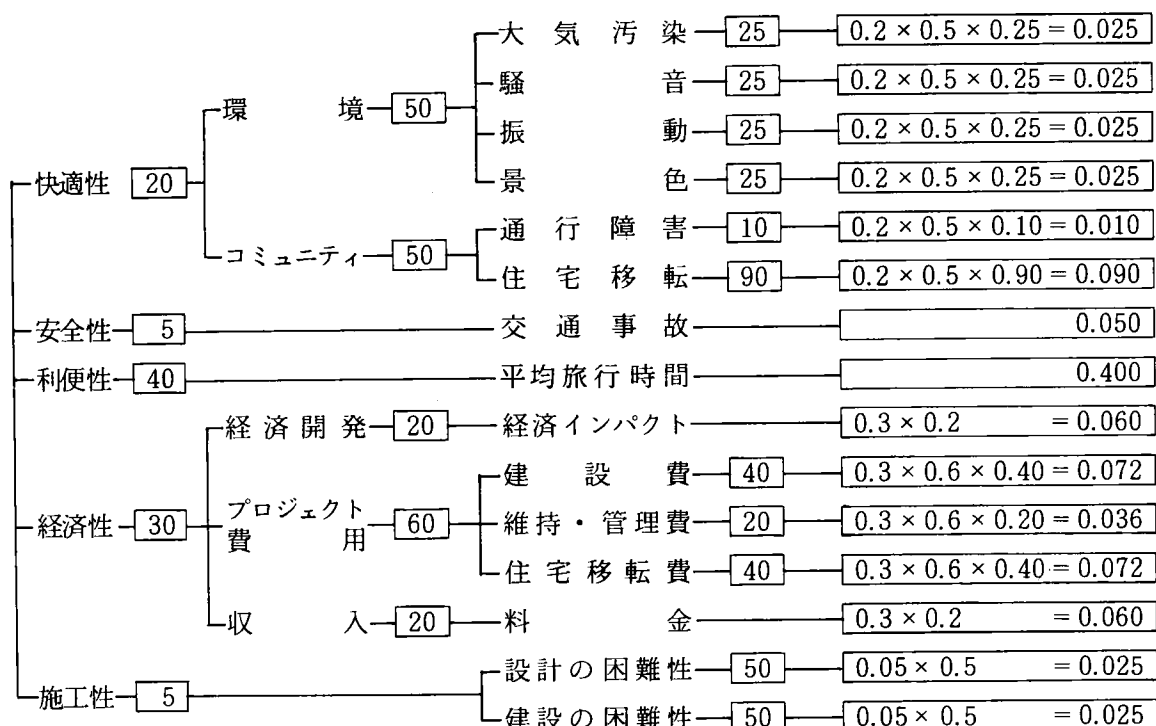


図 5-4-5 評価項目の相対重み（地方行政体の場合）

から式（5-2-5）に基づいて各評価主体の各代替案に対する総合評価値（利得）マトリックスを作成することができる。これを表 5-4-4 に示す。この表がすべての評価主体に公表されると、どの評価主体がどの案を推しているか等、一目で各評価主体はお互いの置かれている状況を把握することができる。次に、可能な提携とその提携値を求める。本適用例の場合、評価主体の集合は $N = \{U, R, G\}$ であるので、可能な提携は空な提携を \emptyset とすると

$$S = \{R, U, G, RU, RG, UG, RUG, \emptyset\}$$

である。 \emptyset は \overline{URG} の意味でもある。これらの提携について、5-2-4(2)で定義した M. P. R. を適用すると各提携値は表 5-4-5 のように求められる。この計算は表 5-4-4 を用いて簡単に実施できる。たとえば、 $v(R)$ は、 U と G が提携を構成して、自分達の利得が最大となる案、すなわち、 a_1 を多数決で実施すべきだと「主張」をした場合に R が得られる利得、つまり $U^R(a_1) = 4.81 = v(R)$ として求められる。次いで各案に対する各評価主体の不満量 $D(S|a_j)$ を求める。これは表 5-4-4 と提携値から式（5-3-1）を用いて計算できる。たとえば a_0 が採用されたとした場合、 U についてみれば、独力で獲得できる最低保証水準 $v(U) = 5.34$ に対し、不満量は $D(U|a_0) = v(U) - U^U(a_0) = 5.34 - 4.40 = 0.94$ であり、一方、 R についてみれば、 $v(R) = 4.81$ となる最悪の場合に比較して $D(R|a_0) = v(R)$

$-U^R(a_0)=4.81-5.86=-1.05$ なる剰余が得られる。このようにして求めた不満量の一覧表が表5-4-5に示されている。表中*印は各案に対する最大不満量を示している。式

(5-3-2)に示したJMPR法では、最大の不満をもつ提携に着目し、これを最小とする案を選定することになるので a_1 を選定することになる。

ところで、 a_1 を実施することにした場合、いかに「寛容の仁」に基づいているとはいえ、 R は a_1 には合意しないであろう。なぜなら、 a_1 は R にとって現状 a_0 より悪くなるために、「環境権」等を強調して反対するからである。そこで、現状より悪くなる者に対する補償が必要となる。そのために、 a_1 を実施することによる社会全体の利得の公正な配分を考えてやらねばならない。 $U^U(a_0)=4.40$, $U^R(a_0)=5.86$, $U^G(a_0)=3.98$ を用いて、式(5-3-7), (5-3-8)から理想的配分 $x(U)$, $x(R)$, $x(G)$ を求めると図5-4-6のように求め

表5-4-4 評価主体の利得マトリックス

$k \backslash A$	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
R	5.86	4.81	3.31	4.23	5.14	7.25
U	4.40	7.60	6.40	6.50	6.18	5.34
G	3.98	8.45	4.45	4.41	6.19	6.20
ΣU^k	14.24	20.86	14.16	15.14	17.61	18.79

らる。すなわち、高さが $U^N(a_1)=20.86$ を示す正三角形を考え、三角形の各辺からの高さをそれぞれの配分とすると、式(5-3-7), (5-7-8)を満たす解は図中の小三角形のなかに存在し、内接円の中心で与えられる。これより、配分

表5-4-5 提携と不満足の値

S	$v(S)$	$D(S|a_j)$					
		a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
R	4.81	-1.05	0	1.5	0.58	-0.33	-2.44
U	5.34	0.94	-2.26	-1.06	-1.16	-0.84	0
G	6.20	2.22	-2.25	1.75	1.79	0.01	0
RU	12.59	2.33	0.18	2.88	1.86	1.27	0
RG	13.45	3.61	0.19*	5.69	4.81	2.12	0
UG	16.05	7.67*	0	5.20	5.14	3.68*	3.31*
RUG	20.86	6.62	0	6.70*	5.72*	3.25	0.87
Max $D(S)$		7.67*	0.19*	6.70*	5.72*	3.68*	3.31*

(注) *は各代替案の最大不満量を示す。

表 5-4-6 理想分配と補償

k	$x(k)$	$U^k(a_1)$	$c(k)$
R	8.07	4.81	+ 3.26
U	6.60	7.60	- 1.00
G	6.19	8.45	- 2.27

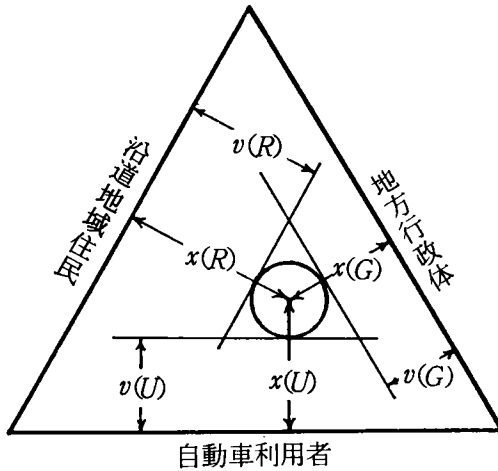


図 5-4-6 核の解

$x(k)$, $U^k(a_1)$, $c(k) = x(k) - U^k(a_1)$ を一覧表にしたのが表 5-4-6 である。表 5-4-6 から、本例題においては、 G は $\Delta U = 2.27$, U は $\Delta U = 1.00$, の利得を R に補償する必要があることが理解される。実際の問題ではこれらの補償は表 5-4-2 の中味をみて、

R の利得を小さくしている項目、騒音 (Noise) や大気汚染 (Air-Pollution) の改善を、 G は建設費の上乗せ、 U は利用費用の上乗せ等によって実施する必要がある。

5-5 結 語

5-2-2 で一部述べたように、公共土木プロジェクトの最終の目的は社会福祉の拡大と安定と公正にある。しかし、現実には、社会を構成する人々は多様な価値感をもち、1つのプロジェクトの実施によってすべての人々の満足を得ることはきわめて困難である。その主たる理由は、プロジェクトの実施がある人には満足を感じさせる反面、ある人々には満足を感じさせない。場合によっては、現状より不満が拡大する場合すらあるからである。そのような状況では、いかに社会全体の利得が拡大するからといっても、とうてい合意が得られるものではない。すでに、5-2-4 の定式化および 5-4 の簡単な例で示したように、① 社会全体の利得の拡大、② 不満が最小となる計画案の選定、③ 個人の犠牲を強いることのないような公正の達成のための合理的な配分、を本研究のねらいとした。しかし、本研究で最も議論となる点は、本研究で定義した利得（評価主体が計画の実施によって得る効用の増大分）が評価主体間で授受できるかどうか、である。この点について少し議論しておく。人間の効用は各種の属性（経済学上の財の概念をも含めて）からなる。このうち、プロジェクトの実施のいかんによって影響される属性を $(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_L)$ 、その他の属性をまとめて y で表わすと効用 u は

$$u = u_p(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_L) + u_0(y) \quad \dots\dots\dots (5-5-1)$$

で定められるものとしよう。もとより、 u そのものの原点は定めることはできない。すなわち、プロジェクトによって影響されない多くの属性 y に対して $u_0(y)$ を基数効用として定義

できないからである。しかし、5-4 の例題で示したように、 $(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_L)$ に関する効用は、これら属性の最も望ましくない状態 $(\theta_1^0, \theta_2^0, \dots, \theta_L^0)$ と最も望ましい状態 $(\theta_1^*, \theta_2^*, \dots, \theta_L^*)$ を規定することによって、つまり、

$$\left. \begin{array}{l} u_p(\theta_1^0, \theta_2^0, \dots, \theta_L^0) = 0 \\ u_p(\theta_1^*, \theta_2^*, \dots, \theta_L^*) = 10 \end{array} \right\} \dots\dots\dots (5-5-2)$$

と定義することによって、 u_p なる効用を基数的に規定することができる。このように定義された効用は原点とその大きさをもつので評価主体間の効用の比較が可能である。本研究で扱っている評価値や利得はこのような効用 u_p のことで $u = u_p + u_0$ をトータルとして取り扱っているものではない。このような理由から妥当な効用の配分と補償を考えたが具体的な方法についてはなおいまだ議論の残るところである。概念的には例題で述べたような方法が考えられるが、これらの方法が効用の授受において量的にバランスしなければならない、といった制約を満足させることができるかどうかについては本研究が今後に残す課題である。つまり現実には、補償、身返り施設の提供などが行われているが、これを効用配分として量的に関係づける研究が必要であると思われる。これについては、さらに第6章で考察する。さらに、本研究では、すべての評価主体は対等と考えて取り扱っているが、評価主体間での相対的な重み等の考え方についても今後の課題として残されている。

第5章参考文献

- 1) 長尾義三・浅岡 顕・若井郁次郎：評価項目の重みの未知の場合の代替案総合評価法，土木学会論文報告集，第313号，pp. 89～100，1981年9月。
- 2) Dasgupta, A. K. and D. W. Pearce : Cost-Benefit Analysis, Theory and Practice, Macmillan, 1972.
- 3) 森杉寿芳・岡本憲之：環境悪化の社会的費用に関する測定方法，オペレーションズ・リサーチ，Vol. 22, No. 1, pp. 26～30，1977年1月。
- 4) Klassen, L. H. : Economic and Social Projects with Environmental Repercussions—A Shadow Project Approach, Regional and Urban Economics, Vol. 3, pp. 83～102, 1973.
- 5) Lichfield, N. et al. : Evaluation in the Planning Process, Pergamon Press, 1975.
- 6) 宮川公男：PPBSの原理と分析，有斐閣，1969年。
- 7) Bishop, A. B. : An Approach to Evaluating Environmental Social and Economic Factors in Water Resource Planning, Water Resources Bulletin, Vol. 8, No. 4, pp. 724

～734, 1972.

- 8) Hill, M. : A Goals-Achievement Matrix for Evaluating Alternative Plans, Journal of the American Institute of Planners, Vol. 34, No. 1, pp.19～29, 1968.
- 9) 林知己夫ほか：多次元尺度解析法，サイエンス社，1976年．
- 10) 矢島 隆：マルチ・オブジェクティブの評価と意思決定（上），（下），地域開発，7～8，pp. 67～80, pp. 59～67, 1972年.
- 11) Keeney, R.L. and H. Raiffa : Decisions with Multiple Objectives, Preferences and Value Tradeoffs, John Wiley and Sons, 1976.
- 12) Nijkamp, P. and van Delft : Multi-Criteria Analysis and Regional Decision-Making, Studies in Applied Regional Science, Leiden, 1977.
- 13) Paelinck, J.H.P. : Qualitative Multiple-Criteria Analysis, Environmental Protection and Multi-Regional Development, Papers of the Regional Science Association, Vol. 36, pp.883～895, 1976.
- 14) Suzuki, M. and M. Nakayama : The Cost Assignment of the Cooperative Water Resource Development—A Game Theoretic Approach, Management Science, Vol. 22, No. 10, pp. 1081～1086, 1976.
- 15) Rawls, J. : Justice as Fairness, Philosophical Review, Vol. 67, pp. 164～194, 1957.
- 16) Schmeidler, D. : The Nucleolus of a Characteristic Function Game, SIAM, Journal of Applied Mathematics, Vol. 17, No. 6, pp. 1163～1170, 1969.
- 17) von Neumann, J. and O. Morgenstern : Theory of Games and Economic Behavior, Princeton University Press, 1947.
- 18) Schlaifer, R. : Analysis of Decisions and Uncertainty, McGraw-Hill, 1969.
- 19) Fishburn, P. C. : Utility Theory for Decision Making, ORSA, No. 18, John Wiley and Sons, 1976.
- 20) Nagao, Y., K. Kuroda and I. Wakai : Decision Making Under Conflict in Project Evaluation, Proceedings of International Symposium on Conflict Management, Kyoto, 1981.
- 21) 長尾義三・黒田勝彦・若井郁次郎：対立するグループが存在する公共プロジェクトの代替案選定法，土木学会論文報告集，第338号，pp. 167～176, 1983年10月.
- 22) Nagao, Y., K. Kuroda and I. Wakai : Decisionmaking Under Conflict in Project Evaluation. In International and Regional Conflict : Analytic Approaches, eds. W. Isard and Y. Nagao, pp. 73～90, Ballinger Publishing Company, 1983.
- 23) 黒田勝彦・長尾義三・若井郁次郎：公共交通施設の建設と附帯政策のゲーム論的解釈，

第3回土木計画学研究発表会講演集, pp.78~85, 昭和56年1月.

- 24) 長尾義三・黒田勝彦・若井郁次郎: 港湾における施設計画とグループ・インタレスト, 計画行政, 第8号, pp. 213~220, 昭和57年11月.

第6章 代替案の総合評価の不確実性と分権的達成による調整法

6-1 概 説

本章では、交通施設計画などの環境インパクトをもつプロジェクトを実施する場合、環境インパクトの影響を受けるプロジェクト周辺の地域環境をある水準、たとえば環境基準以上に保つために、人間行動の取りうべき代替案のなかから探索し、総合評価を行って満足水準を達成するための方法論を提案する。すなわち、環境インパクトを受けた地域の人間・社会は順応、転換(開発)、移転の3種類のいずれかの行動により現在の効用水準を維持、あるいは高めるために選択可能な代替案のなかから総合評価し、満足しうる代替案を見出す地域整備計画モデルを提案する。

さらに、プロジェクトが、時間的にも空間的にも不確実な環境インパクトをもち、プロジェクトに係わる立場(評価者)間に利害が発生する場合、環境インパクトにより利益、不利益を受ける利害者を明らかにし、利害者間の利益・不利益の補償調整については、分権的達成による方法が有効であることを考察する。

6-2 分権的達成による調整法

第4章、第5章を通じて土木計画代替案の評価項目に対する評価値やそれらの加重和である利得は、効用で表現されてきた。特に、第5章では、プロジェクトの実施により現在の効用水準よりも悪くなるグループを含む社会において、合意形成を得るために、社会全体の利益の公正な配分が評価主体間において効用の授受によって行われる必要性が強調された。

しかしながら、評価主体間の効用の授受については、現段階では理論的な考察は可能であっても、現実の社会に適用する場合には、効用の実体的表現が可能とならない限り、難しい面を抱えている。そのために、実際には効用の授受の代りに、現状より悪くなる者に対しては、補償や身替り施設の提供などにより問題の解決が行われている。

ここでは、6-3において示す時間・空間ともに不確実な環境インパクトをもつプロジェクトを実施する場合、社会全体の利得の公正な配分を行うために、評価主体間の効用授受に代る貨幣タームによる補償、あるいは実物による身替り施設の提供といった方法を具体化する一つの方法として分権的達成による調整法を空港計画を例として考察する。

まず、プロジェクトに係わる利害者(評価主体)を、空港利用により効用を高めることができる受益者(空港利用者)、環境インパクトの影響を受ける地域住民および交通施設を提供する事業(計画)主体の3つの評価主体に分類する。これらの評価主体は、この場合、次のような

利害関係が発生する。

受益者である空港利用者は、空港の利用により時間節約、快適性などの便益を享受するが、地域住民は、航空機の離着陸時における騒音や大気汚染などの環境インパクトを受けて、空港がない場合に比べ効用水準が低くなる。そのために事業主体は、地域住民から地域環境の悪化などについて苦情等が持ち込まれることになる。しかしながら、事業主体は環境悪化に伴う社会的費用などの外部費用について、すべて内生化していないために、地域住民に対して十分な環境保全対策を実施できない。

そこで、プロジェクトの実施により便益を受ける空港利用者からその便益の一部を地域住民へ移転、換言すれば効用の授受により社会全体の利得の公正な配分を行うことが必要となるが、これを受益者、事業主体および地域住民の間で直接行うことは実際には無理な面があるので、調整を代行する調整実施機関を介在して補償、あるいは身替り施設提供などを行うことが考えられる。

この場合、事業主体は、地域環境保全に必要な費用を受益者から利用料、または補償充当金を徴収する。事業主体は地域環境保全に必要な施設を制度等の制約により提供できない場合は、公害防止費用、課徴金など調整実施機関へ支払い、補償や身替り施設提供を代行してもらう。逆に、このことを事業主体で行う場合には、調整実施機関へ受益者から利用料として徴収された公害防止費用、混雑費用のなかから補助金として交付してもらい実行する。

こうして分権的に補償や身替り施設提供を達成していくが、これを図解したものが図6-2-1である。

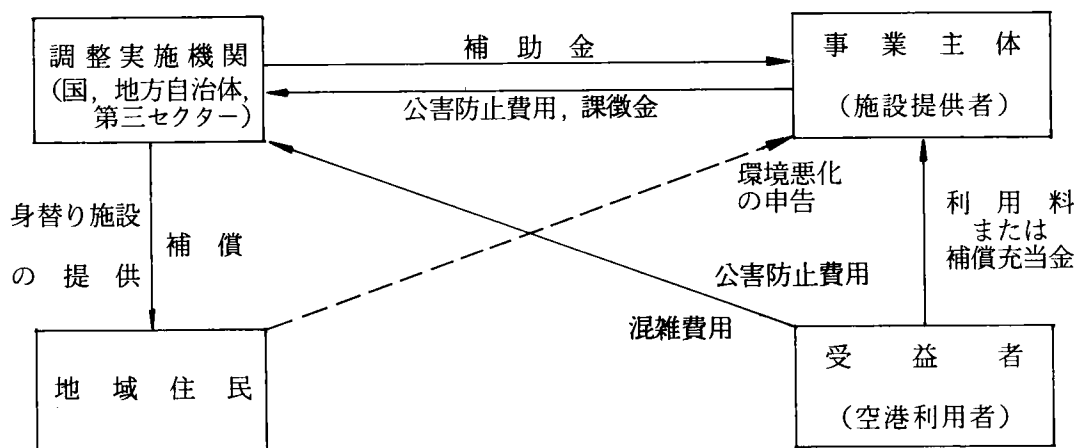


図6-2-1 分権的達成による調整法

以上のように、社会全体の利得を公正に配分するためには、評価主体間の効用の授受の代りに、貨幣タームによる補償や身替り施設の提供により、分権的に達成するという現実一步近づいた方法が提案される。これはまた、時間的、空間的に変化する環境インパクトをもつプロジェクトの不確実性の処理の一方法を提案していることにもなる。そして、本研究の一つの課題である効用配分と補償および身替り施設提供との量的関係の解明のための一方向を示しているといえる。

このような研究としては、文献17)がみられる。この研究では、空港、港湾などの大規模ターミナル立地選定問題が取り扱われている。そして、ターミナルの大規模化、輸送機関の大型化、高速化、多量化に伴い、周辺地域に与える負の影響が無視しえない状況にあるとして、従来のターミナル立地選定問題における流通費用最小に加えて周辺地域の整備計画を含めたターミナル立地選定問題を提案している。

提案されているモデルの概要は、以下のとおりである。

まず、輸送客体は、供給地からターミナルを経由して需要地へ輸送されるとする。この場合、国民経済的観点からターミナル立地選定問題が混合整数計画問題に帰着でき、これを解くことにより最適なターミナル立地計画の解が求められると述べている。

しかしながら、実際には、ターミナル建設主体は地域住民意識を考慮しなければならず、輸送業などの利用者は全国均一運賃料金制といった公共料金の制度的制約などから国民経済的に最適な物流パターンとなっていないとして、国民経済的にみて好ましい物流経路に実際に流すために、費用負担、便益の移転、補助金、課徴金制度を採用し調整する分権的達成の方法を提案している。

この分権的達成の方法の概要は、以下のとおりである。

経済主体として次の3主体を考え、各経済主体は純便益最大化行動を取ると考える。

- ① 中央計画主体（調整主体）
- ② ターミナル建設管理主体（施設の提供主体）
- ③ 利用者もしくは荷主（輸送業者と協力して、地域の輸送需要を満たすために輸送を行うものとする。ここでは輸送業者間の便益の帰属については問題にしない。）

中央計画主体の調整方法として、次の6項目の政策が考えられるとしている。

- ① ターミナル建設管理主体に当該ターミナルを通過する輸送活動によって発生する便益の α 倍（ $0 \leq \alpha \leq 1$ ）をターミナルの使用料として利用者（荷主）に課すことを認める。
- ② ターミナル建設管理主体に、当該ターミナルを通過する輸送活動によって発生する公害防止費用の α 倍を負担させる。
- ③ 純便益を最大にするという意味で全体的最適な候補地の最適な規模計画に対しては、

補助金を与える。

④ 純便益を最大にするという意味で全体的最適でない候補地の計画に対しては罰金もしくは課徴金を課す。

⑤ 容量が一杯のターミナルを利用する利用者（荷主）には混雑料を課す。

⑥ 利用者（荷主）が利用するターミナルにおいて発生する公害防止費用の $(1 - \alpha)$ 倍を利用者に負担させる。

以上の関係を図6-2-2のように整理している。

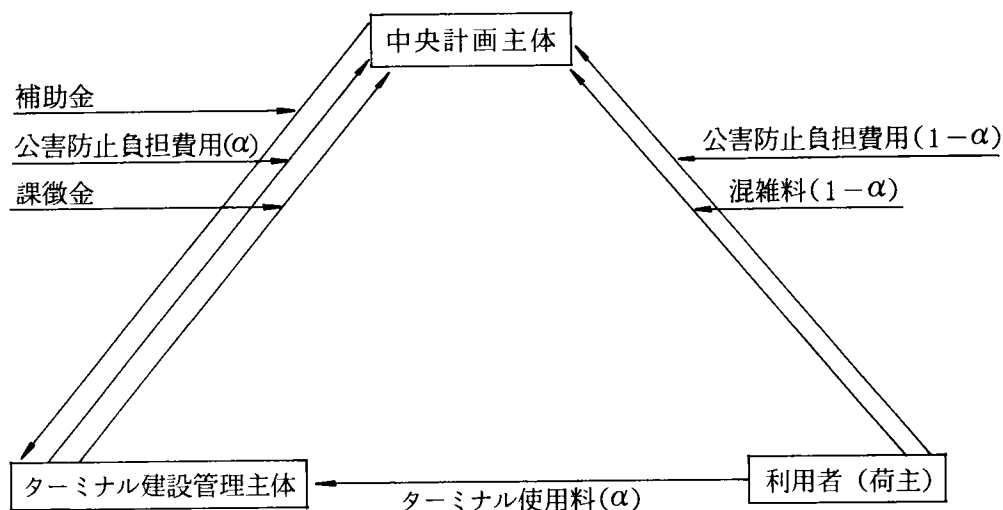


図6-2-2 分権的達成システム（文献17）より）

以上は、従来の研究にみられた分権的達成の方法であるが、ここで本研究で提示した図6-2-1と文献17)の図6-2-2とを比較した場合、調整実施機関と地域住民を一体化したものが中央計画主体に、事業主体がターミナル建設管理主体に、また受益者が利用者に対応することになる。

6-3 交通施設プロジェクト周辺地域整備計画への適用と考察

6-3-1 はじめに

安定状態にある地域生態系のなかに、ある環境インパクトをもつプロジェクトを設けたとき何らかのかく乱が生じる。好ましくない面への対応は、1) インパクト要因の制御、2) 被影響側における対応策もしくは補償である。1) は技術的・経済的要因から早急に実現期待が困難な場合もあり、さりとて2) は問題の根本解決となりえないことも多い。プロジェクトの要請がこの障害を乗り越えるほど大きい場合、地域の人間・社会の取りうる行動は、順応 (behavioural)、転換または開発 (development) および移転 (locational) の3つとされる¹⁾

順応はインパクト下で生活様式を変えていくが、生活の質そのものを変えるものではない。何らかの外部費用が発生し、補償という形になって表われることもある。転換または開発は内容そのものを質的に変える行為である。土地利用についてみれば用途転換がこれに相当する。最後の移転は土地を離れて他に生活しやすい場所を求める行為である。環境インパクトをもつプロジェクトを実施しようとするとき、そのインパクト要因を列挙し、それが周辺地域にどのような影響を与え、それを受けた人間・社会の取りうべき最適行動を明らかにすることは前述した1)と2)との2つの方法に続く第3の方法としてプロジェクト実施を可能にさせる有力な情報を与える²⁾。

6-3-2 問題の設定

図6-3-1(a)にある地域の土地利用現況が例示されている。この地域には商住工混在し、ある住宅地は駅から離れたり、工場の騒音、排気ガスの影響を受けたり、また低湿地にある。決して好ましい働く環境、住む環境とはいえない。地域住民としては、図6-3-1(b)に示されるような地域環境が好ましいとしても、生活様式の変化、転換、移転費用の増加を考慮して図6-3-1(a)の状態で安定していると考えられる。なお、図6-3-1(c)は環境インパクトをもつプロジェクトがあるときの地域環境を示す。

これをもう少し明確に説明するために、この地域を適当に等間隔の N 個のメッシュに切って、その1つの地区を i 地区として次のような記号に意義を与える。この場合1つのメッシ

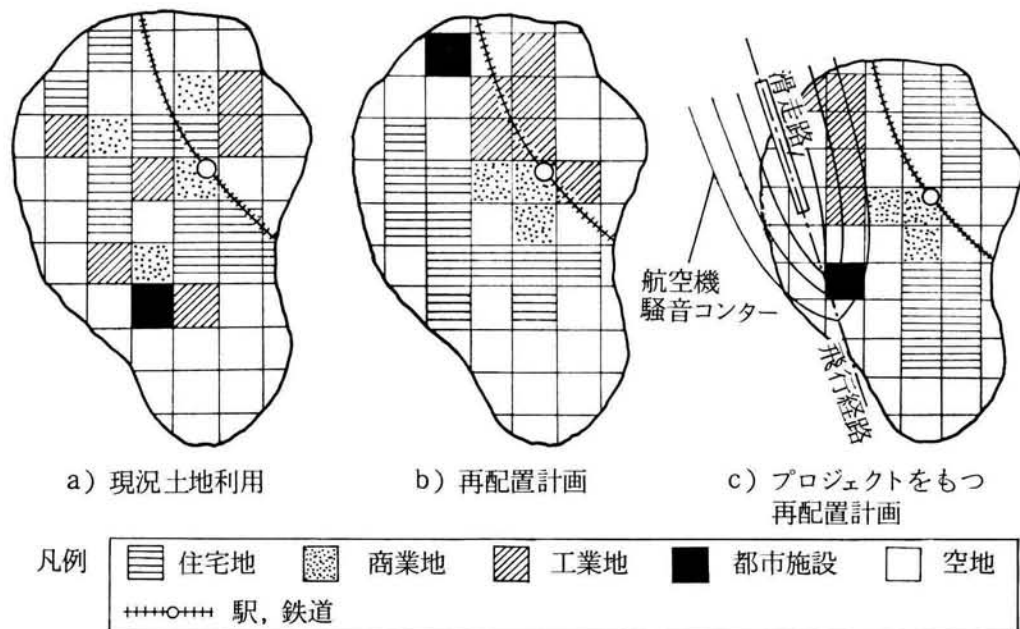


図6-3-1 土地利用計画

に含まれる地域の環境を H 個の評価項目のもとで評価するとする。環境は、また地域の用途によって評価の順位あるいは重みが異なる。

${}_hL_i$: 第 i 地区の第 h 番目評価項目の現況水準

${}_hB_k$: 第 k 用途の第 h 番目評価項目のシビルミニマム(たとえば, 環境基準)

${}_hY_i$: 第 i 地区の第 h 番目評価項目の計画水準

($i = 1, 2, \dots, N, h = 1, 2, \dots, H, k = 1, 2, \dots, K$)

ここで, ${}_hL_i \geq {}_hB_k$ ならば順応, 転換, 移転を行う必要がない。

$$({}_hY_i =) {}_hL_i \geq {}_hB_k \quad \dots\dots\dots (6-3-1)$$

${}_hL_i < {}_hB_k$ ならば順応, 転換, 移転のいずれかを行わねばならない。

$$({}_hY_i \geq) {}_hB_k > {}_hL_i \quad \dots\dots\dots (6-3-2)$$

地域の環境の評価は, 用途に応じた働く場, 生活の場, 交流の場としての評価であって, 評価項目には地形, 地質などのその土地固有のものと, 他の地区からの影響を受けるものがある。その例は以下のとおりである。たとえば, 騒音, 大気汚染, 水質, 交通事故, 通勤・通学の時間と費用, 買い物の便利性など, 保健性, 安全性, 便利性, 経済性に属するもので, これらは他地区にこれらの発生要因があつて距離を媒介として当該地区は影響を受ける。これは当該地区 i と要因発生地区 j との相互作用効果 (interaction effects) と名付けられるもので, その表示の方法の1つには次のようなものが考えられる。

$${}_m\phi_i = \sum_{j \neq i} \frac{{}_m\varphi_{j \neq i}}{R_{ij}^l} \quad \dots\dots\dots (6-3-3)$$

ここに,

${}_m\phi_i$: 第 i 地区の第 m 番目評価項目の相互作用効果

R_{ij}^l : 第 i, j 両地区の距離抵抗(たとえば, R は距離, l は定数値)

${}_m\varphi_{j \neq i}$: 第 i 地区以外の第 j 地区における第 i 地区への第 m 番目評価項目の相互作用効果に影響を与えるポテンシャル(発生騒音, 排気ガスなど)

${}_m\phi_i$ は ${}_hL_i$ と同じ性質のものであるが, 他地域と相互に影響し合うものとするか, その地区固有のものとするかの相違である。いま式(6-3-1)に示す状態にあるならば, 環境としては問題はないが, 式(6-3-2)の状態であるならば, 何らかの行動を起こさねばならない。順応できなくなるか, 何らかの当該地域と関係ないプロジェクトが計画されれば, 式(6-3-2)の状態が意識される。しかし, 式(6-3-2)の状態を満足する解は無数にある。1つの代替案は次のようである。いま, 移転を考えないとして, i 地区の改良費用を

$C_{i.1}$, 転換費用を $C_{i.2}$ とすれば,

$$C_{i.1} = \sum_{h=1}^H C_{ih}({}_hL_i, {}_hB_k, {}_hY_i) \quad \dots\dots\dots (6-3-4)$$

$$C_{i.2} = \sum_{k=1}^K C_{ik}({}_kX_i, {}_kS_i) \quad \dots\dots\dots (6-3-5)$$

ここに,

${}_kX_i$: 第 i 地区を第 k 用途に利用することを示す変数で, 利用する場合 1, 利用しない場合 0

${}_kS_i$: 第 i 地区が現在第 k 用途に利用されていることを示す変数で, 利用している場合 1, 利用していない場合 0

もちろん,

$$0 \leq \sum_{k=1}^K {}_kX_i \leq 1, \quad 0 \leq \sum_{k=1}^K {}_kS_i \leq 1 \quad \dots\dots\dots (6-3-6)$$

これらの式は, 混合利用を許さない場合, 第 i 地区は 1 つの用途にしか利用できない制約式となる。0-1 変数 ${}_kX_i$ を用いて式 (6-3-2) を書き換えると次のようになる。

$${}_hY_i \geq {}_hB_k \cdot {}_kX_i \quad \dots\dots\dots (6-3-2)'$$

また, 需要および資源制約条件として次式を与える。

$$\sum_{i=1}^N {}_kD_i \cdot {}_kX_i \geq D_k \quad (k=1, 2, \dots, K) \quad \dots\dots\dots (6-3-7)$$

$${}_kD_i \cdot {}_kX_i \leq {}_kA_i \quad \dots\dots\dots (6-3-8)$$

ここに,

${}_kD_i$: 第 i 地区を第 k 用途に使用したときの計画収容量

D_k : このコミュニティにおける第 k 用途の総需要量

${}_kA_i$: 第 i 地区の第 k 用途の収容可能量

いま, 簡単のために他地区との相互移転を考えないとすれば, 式 (6-3-1) および式 (6-3-2) で示される状態で上述の制約条件を満足する経済的な行動は, 整備費用を I_1 とすれば,

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K C_{i.1} + \sum_{i=1}^N C_{i.2} \\ &= \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K \sum_{h=1}^H C_{ih}({}_hY_i, {}_hB_k, {}_hL_i) \\ &\quad + \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K C_{ik}({}_kX_i, {}_kS_i) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (6-3-9)$$

を最小にすることといえる。さらに、この場合、生産活動に要する費用は不変とみて生活費用、すなわち、家計支出のみ変化すると考えられるのでそれを I_2 とすれば、この計画の総効用 U_A は、次のようになる。

$$U_A = U_A(I_1, I_2) \quad \dots\dots\dots (6-3-10)$$

これは、 Y のレベルをいろいろ変えることによって I_1, I_2 も変化する。効用の最大なる点が存在するためには、式(6-3-10)の効用関数の内容を明らかにして、解の集合の凸性を示さねばならないのであるが、その必要ならびに十分条件を求めることは、効用関数の性質が十分でないので困難である。したがって、プロジェクト周辺地域の環境をある水準以上(たとえば環境基準)に保つための費用最小点を、人間行動の取りうべき代替案のなかから探索する問題として扱う。そして、求め得た結果は、最適の計画水準であるかどうかは分からないが、少なくとも、満足しうる水準を保つための人間行動の費用の最小値をもつ計画をもつことができるという、費用-有効度分析モデル³⁾の一つを形成したことになる。この手法は安定しているが好ましくない地域環境をプロジェクトの投入によって好ましい地域環境に変える実際的な手法ともいえる。

6-3-3 モデルの前提条件

(1) ゾーニング

前述したように、本考察ではあらかじめ対象地域を適当なメッシュに分割し、その結果あらわれる正方形ゾーンを分析の要素とする。この種のゾーニングを行うに際しては、メッシュの格子間隔の選び方に問題がある。本考察ではメッシュの格子間隔について、次の条件が満たされていることを必要とした。

- ① 各メッシュは独立した用途を代表できる大きさであること。
- ② 土地の評価項目の水準値がゾーン1個当たり均一性を保てる大きさであること。
- ③ 計算の実用性に十分耐えうる大きさであること。

①の用途とは、土地に設定された建造物の土地に対する特殊な利用形態であり、これは不可分なある大きさをもっているから、1単位の用途の不可分な大きさを無視するようなゾーニングは、本来無意味なものであることをいう。②は、各ゾーンが各環境評価項目に対してある水準値を代表していなければ、本考察の手法としてゾーニングをする意義が失われてしまうことをいう。③は、与えられたメッシュ格子間隔について、その格子間隔を $1/K$ 倍にするならば、ゾーン総数は K^3 倍となり、取り扱うデータは著しく増大し、計算の大型化をきたすことをいう。

(2) ゾーンにおける土地利用形態のあり方

ゾーン内の計画変数としての利用形態には、混合利用を許す場合と混合利用を許さない場合との2通りが考えられる。これはメッシュ格子間隔のとり方とも関連する。公害、特に大気汚染などは、用途の混在地区で多く起こっているように、環境整備の主旨からすれば、混合利用を許さない場合の方が適切であるといえる。

しかし、混合利用を許さない場合には、ゾーン内部の用途の配置を完全に決定することになるので、対象地域の土地利用構想をぬきにしては考えられない。ところで、混合利用を許す場合には、ゾーンにおける用途の利用度を示す指標を混合率に選び、次のように定義する。「第 i ゾーンにおける第 k 用途の混合率とは、第 k 用途が第 i ゾーンにおいて占有している面積の第 i ゾーンの全利用可能面積に対する比」である。

(3) 容 積 率

用途の量的扱いは、延べ床面積をもって表わす。延べ床面積は土地の物理的面積に対して容積率から計算される。ただし、容積率はグロス量としての総容積率を用いる。これは都市施設の配置パターンを条件としたことを考慮したためである。

総容積率は、次のように与えられる。

$$\text{総容積率} = \frac{\text{延べ床面積}}{\text{敷地面積と周辺の通路面積の合計値}} \quad \cdots \cdots (6-3-11)$$

土地の利用度は、ゾーン当たりに求められればよいから「敷地面積と周辺の通路面積の合計値」をゾーンの全利用可能面積に選び、総容積率が与えられれば、各用途のゾーン当たりの延べ床面積は次のように定まる。

$${}_kA_i = A_i \cdot r^k \quad \cdots \cdots (6-3-12)$$

ここに、

${}_kA_i$: 第 i ゾーン全体を、第 k 用途に利用した場合の延べ床面積

A_i : 第 i ゾーンの全利用可能面積

r^k : 第 k 用途の総容積率

したがって、任意の混合率 ${}_kQ_i$ で第 i ゾーンを占有する第 k 用途の延べ面積を ${}_kF_i$ とすれば、次のようになる。

$${}_kF_i = {}_kA_i \cdot {}_kQ_i \quad \cdots \cdots (6-3-13)$$

ただし、 $0 \leq {}_kQ_i \leq 1$

以上の関係を概念図で示せば、図 6-3-2 のようである。

ところで、計画すべき容積率をどのように決定するかについては、従来、ほとんど研究のなされていない分野であり、現状では、法的に規制されている場合もあり、各利用者に委ねられている場合もある。おのおのの利用者に委ねられている場合の経済的なミクロの分析は文献 4) に詳しい。

本研究のモデルでは、容積率の経済学的な決定プロセスは導入されていないが、容積率はゾーンと用途を与えれば、何らかの観点から最適な値が存在しうると考えて与件とする。容積率の感度については、感度分析が可能であり、6-3-4 (3) a) において述べる。

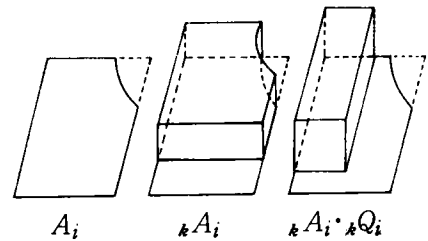


図 6-3-2 土地利用上の混合率と総床面積に関する概念図

(4) 環境評価

プロジェクト実施前の人間活動を制約する空間条件に何を選び、どのように表わし、さらにプロジェクトの影響を予測することは、環境アセスメントの研究分野となる。本研究ではアセスメント手法の詳細について述べるのではなく、何らかの作業によって必要と思われる評価項目についての定量的な、もしくは順序づけが可能な評価指標が得られたとしている。ゾーニングによって個々のゾーンを分析対象とする本研究の手法からすれば、対象地域の環境とは、ゾーン当たりの評価指標の集合であると考えられる。さらに、評価指標は、対象地域の特性のみに応じて、必要なだけ列举された環境評価項目によって構成される。環境を規定する環境評価項目に何を选ぶかが問題となるが、考えられるあらゆるものを列举し、相互に独立なもの、重みの高いものを選んで計算の簡略化をはかる必要がある。環境評価項目は、たとえば、地形とか地盤の良否などその地区の固有の自然的条件によるものと、騒音とか大気汚染などの発生源との相対距離と関係のある社会的条件によるもの、さらに、駅までの距離のように経済的条件によるものなどがある。こうして、列举された環境評価項目のおののに対して、評価指標の水準がデジタルな尺度で調査されねばならない。前述した環境基準はある環境評価項目に対する計画水準として考えることは、根拠のあることである。環境評価項目のなかには、必ずしもデジタルな尺度で評価しきれないものもあるが、これについては、便宜的な指標を設定して評価し、デジタルな尺度と同様の取り扱いができるように、実用上の工夫をすることが必要となる。

単位の異なるデジタル尺度、ならびに非計量のものを評価するのに、5段階評価を用いることは有用である。もっとも好ましいものに5、逆に好ましくないものに1を与えることを

基準に、評価項目間のウェイトを考慮して、1～5までの序数を与える。

(5) 費用分析

a) 改良費用

環境評価は、相互地区に独立な H 個の環境評価項目によって評価されるので、前述した順応に対応する改良費用は、 H 個の環境評価項目のそれぞれについての改良費用の総和である。改良費用は、原理的には、ゾーン別用途別にすべて調査をして求めるわけであるが、本研究では、次の方法によることを提案する。すなわち、あらかじめ環境の水準を列举された環境評価項目について評価し、与件とする環境基準値と比較し、環境基準が満たされているものと、そうでないものを選別する。こうして選別されたもののうち、環境基準が満たされていないものについて、各環境評価項目についての改良費用単価から改良費用を積算する。以上の手順を流れ図で示せば、図6-3-3のようである。

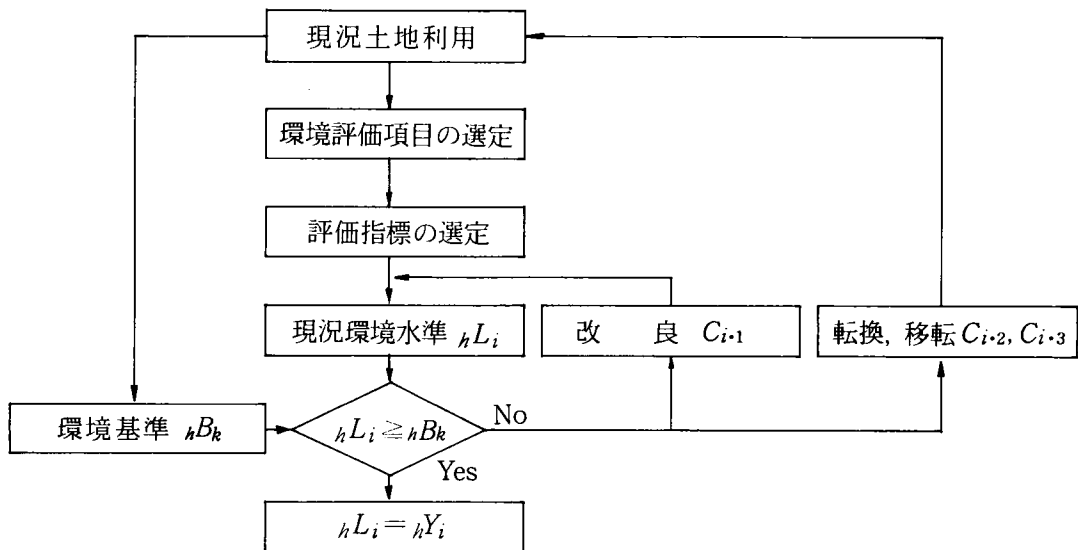


図 6-3-3 環境改善計画と費用分析のフロー図

b) 転換費用・移転費用

転換費用と移転費用の費用の上からの相違は、移転費用は移転代替地の用地の買収費、整地費を含むが、転換費用はそれらを含まない点である。転換費用は次の4つの費用に分類でき、各費用を用途別に求めて、積算すればよい。分類される4つの費用は、1) 構造物の解体費、2) 土地の整地費、3) 移送費、4) 建築費である。移転費用は以上4つの費用に、移転代替地の買収費、整地費が加えられる。ところで、3)の移送費は、あるゾーンから他のゾーンへ向けて移送されるかに依存してくる量であるが、本研究では、適用例にみられる

ように対象地域が比較的狭い範囲であり、距離の相違による費用差が小さいと考え、これを無視できると仮定して、上のように転換費用と移転費用を定めることにする。

c) 総費用

費用分析による評価の総費用は、以上 a), b) を加算した整備費用と、式(6-3-10)で考慮した生活費用をこれに加えることになる。生活費用のインパクトについては、文献 5) に基づく研究の手法を取り入れることもできるが、現況のままでは、生活費用は高く、転換・移転を行えば、生活費用は低くなることが、一般に予想されるので、本研究では、第1段階の分析として I_2 の影響を考慮外とした。

6-3-4 モデルの定式化

モデルを定式化するにあたり仮定とすることを、もう一度整理し列挙すると以下のとおりである。

- ① 用途需要を一定とする。
- ② 道路、鉄道、空港、駅、ガス、電気、水道などの都市施設の配置パターンを与件とする。ただし、学校、病院などの都市施設は住宅地区の付属施設とする。
- ③ 容積率は、用途に関してのみ関係する量として与えられる。
- ④ 環境評価は互いに独立な環境評価項目により分類可能であり、しかも、各環境評価項目の水準は、順序づけが可能である。
- ⑤ 達成すべき環境基準を与件とする。
- ⑥ 対象地域は、改良、転換、移転のいずれかの組合せにより環境基準を達成する。
- ⑦ 用途の転換に伴う周囲への効果は無視できる。
- ⑧ 転換、または移転に伴う移送費は距離に関係しない。
- ⑨ 費用は占有面積に比例する。

(1) 混合利用を許さない場合

これまで説明したもの以外の記号の説明は以下のとおりである。

${}_kZ_i$: 第 i ゾーンの第 k 用途の現況混合率 ($0 \leq {}_kZ_i \leq 1$)

A^k : 移転代替地全体を第 k 用途に利用した場合の延べ床面積

A : 移転代替地全体の面積

${}_kC_{i.1}$: 第 i ゾーン、第 k 用途のゾーン当たり改良費用

${}_kC_{i.2}$: 第 i ゾーン、第 k 用途のゾーン当たり転換費用

(ただし、 ${}_kC_{i.2} = {}_kC \cdot A_i$, ${}_kC$: 第 k 用途の転換費用)

${}_kC_3$: 第 k 用途の移転代替地全体の移転費用

${}_kX_i$: 0-1変数

$$\begin{pmatrix} {}_kX_i = 1, \text{ 第 } i \text{ ゾーンに第 } k \text{ 用途が立地する} \\ {}_kX_i = 0, \text{ 第 } i \text{ ゾーンに第 } k \text{ 用途が立地しない} \end{pmatrix}$$

W^k : 連続変数, 第 k 用途の移転代替地全体の混合率

I : 総費用。ただし, 整備費用のみとする。

また, 転換費用は面積に対して比例的に求められるが, 概念図を示せば図 6-3-4 のとおりである。

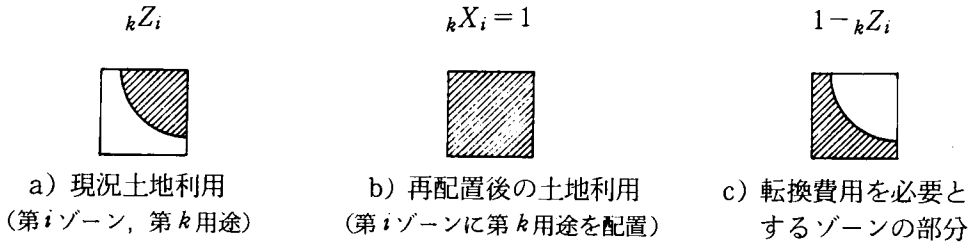


図 6-3-4 混合利用を許さない場合の転換(移転)費用算定の概念図

混合利用を許さない場合の定式化は次のようになる。

$$\sum_{i=1}^N {}_kA_i \cdot {}_kX_i + A^k W^k \geq D_k \quad (k=1, 2, \dots, K) \quad \dots\dots\dots (6-3-14)$$

$$0 \leq \sum_{k=1}^K {}_kX_i \leq 1 \quad (i=1, 2, \dots, N) \quad \dots\dots\dots (6-3-15)$$

$$0 \leq \sum_{k=1}^K W^k \leq 1 \quad (k=1, 2, \dots, K) \quad \dots\dots\dots (6-3-16)$$

のもとで,

$$\begin{aligned} I &= \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K {}_kC_{i.1} \cdot {}_kX_i + \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K {}_kC_{i.2} (1 - {}_kZ_i) {}_kX_i + \sum_{k=1}^K {}_kC_3 W^k \\ &= \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K \{ {}_kC_{i.1} + {}_kC_{i.2} (1 - {}_kZ_i) \} {}_kX_i + \sum_{k=1}^K {}_kC_3 W^k \quad \dots\dots\dots (6-3-17) \end{aligned}$$

を最小にすることである。

(2) 混合利用を許す場合

記号は上記 6-3-4(1)と同様である。ただし, この場合, 変数 ${}_kX_i$ は第 i ゾーンに第 k 用途の混合率を表わす連続変数—前述した ${}_kQ_i$ に相当—(ただし, $0 \leq {}_kX_i \leq 1$) である。混合率と転換費用との線形的関係を概念図で示せば図 6-3-5 のとおりである。

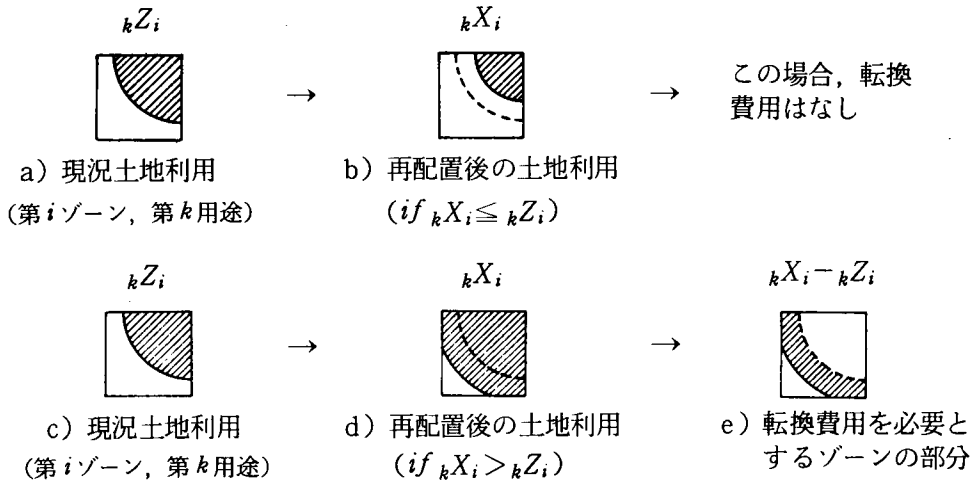


図 6-3-5 混合利用を許す場合の転換費用算定概念図

定式化にあたり変数 ${}_kX_i$ を 2 区間で定義される変数 ${}_kX_{i(1)}, {}_kX_{i(2)}$ に分離し, 可分計画法を用いる。

$${}_kX_i = {}_kX_{i(1)} + {}_kX_{i(2)} \quad \dots\dots\dots (6-3-18)$$

$$0 \leq {}_kX_{i(1)} \leq {}_kZ_i, \quad 0 \leq {}_kX_{i(2)} \leq 1 - {}_kZ_i \quad \dots\dots\dots (6-3-19)$$

ただし, ${}_kX_{i(1)} < {}_kZ_i$ ならば, ${}_kX_{i(2)} = 0$

したがって, 定式化は次のようになる。

$$\sum_{i=1}^N {}_kA_i ({}_kX_{i(1)} + {}_kX_{i(2)}) + A^k W^k \geq D_k \quad \dots\dots\dots (6-3-20)$$

($k = 1, 2, \dots, K$)

$$0 \leq \sum_{k=1}^K ({}_kX_{i(1)} + {}_kX_{i(2)}) \leq 1 \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad \dots\dots\dots (6-3-21)$$

$$0 \leq \sum_{k=1}^K W^k \leq 1 \quad \dots\dots\dots (6-3-22)$$

$$0 \leq {}_kX_{i(1)} \leq {}_kZ_i \quad \dots\dots\dots (6-3-23)$$

$$0 \leq {}_kX_{i(2)} \leq 1 - {}_kZ_i \quad \dots\dots\dots (6-3-24)$$

のもとで

$$I = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K {}_kC_{i+1} ({}_kX_{i(1)} + {}_kX_{i(2)})$$

$$\begin{aligned}
& + \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K {}_k C_{i \cdot 2} \cdot {}_k X_{i(2)} + \sum_{k=1}^K {}_k C_3 W^k \\
& = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K {}_k C_{i \cdot 1} \cdot {}_k X_{i(1)} \\
& + \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K ({}_k C_{i \cdot 1} + {}_k C_{i \cdot 2}) {}_k X_{i(2)} + \sum_{k=1}^K {}_k C_3 W^k \dots\dots\dots (6-3-25)
\end{aligned}$$

を最小にすることである。

混合利用を許さない定式化は解法上 0-1 混合整数計画法である。0-1 混合整数計画法の解法には多くの手法が開発されているが、茨木らによって開発されたヒューリスティック・プログラミングに基づくプログラムを使用した^{6),7)} 混合整数計画法のアルゴリズムは、Land-Doig の分枝限定法⁸⁾や Benders の分割法⁹⁾があるが、大規模な問題に対しては実用上十分でない。本研究で使ったプログラムは、大規模な問題に対して実用上近似最適解が得られるように開発されたもので、これは可能な集合のなかである基準に基づいて最初の集合を定め試行錯誤的な手段により解を改良し、近似最適解を求めて計算を打切るようにしたものである。

一般に、整数計画法は計算速度が問題のタイプによって異なること、また、大型の実用計算が困難であることなどの問題が残っている。この点は、混合整数計画法についても同様である。混合利用を許す定式化においては線形計画法の採用が考えられる。線形計画法には多くの研究成果があり、大型計算、感度分析、パラメトリック分析、双対問題などが可能であるという特徴をもっている。のちに計算例で用いるプログラムは LIPS-60C¹⁰⁾なるもので変数の制限はなく、制約式の数が 1,000 個まで実用的に解法可能である。混合利用を許さない場合の 0-1 混合整数計画法による本モデルの定式化は、変数と制約式が増大し、解法上計算機の記憶容量にきわめて左右される。この点については、本モデルの改良を行う余地があり残された課題である。

(3) 感度分析に関する考察

感度分析の対象は、本研究の定式化から次の 6 点に要約される。

- ① 第 i ゾーン、第 k 用途の改良費用の変化、特に環境基準について解にどのような影響を与えるか。
- ② 第 k 用途の転換費用の変化が解にどのような影響を与えるか。
- ③ 対象地域の用途需要量の変化が解にどのような影響を与えるか。
- ④ ゾーンにおける現況の混合率の変化が、解にどのような影響を与えるか。
- ⑤ 計画する容積率の変化が解にどのような影響を与えるか。
- ⑥ ゾーンの全利用可能面積の変化が解にどのような影響を与えるか。

①, ②については目的関数の各項の係数の感度分析をすることによって得られる。③, ④については制約式の制約量の感度分析をすることによって得られる。⑤, ⑥については, 工夫があるので一般的な混合利用を許す場合について次に示す。

a) ⑤についての感度分析

定式化における制約式で計画容積率に関する制約式は次のようであった。

$$\sum_{i=1}^N {}_k A_i \cdot {}_k X_i + A^k W^k \geq D_k \quad \dots\dots\dots (6-3-26)$$

ここに,

$${}_k A_i = A_i \cdot r^k, \quad A^k = A \cdot r^k \quad \dots\dots\dots (6-3-27)$$

であった。したがって, 式(6-3-26)は次のようになる。

$$r^k \sum_{i=1}^N A_i \cdot {}_k X_i + r^k A W^k \geq D_k \quad \dots\dots\dots (6-3-28)$$

r^k が $(r^k + \Delta r^k)$ の変化をするならば, 式(6-3-28)は次のようになる。

$$(r^k + \Delta r^k) \sum_{i=1}^N A_i \cdot {}_k X_i + (r^k + \Delta r^k) A W^k \geq D_k \quad \dots\dots\dots (6-3-29)$$

この式の両辺を $(r^k + \Delta r^k)$ で除せば, 次のようになる。

$$\sum_{i=1}^N A_i \cdot {}_k X_i + A W^k \geq \frac{D_k}{r^k + \Delta r^k} \quad \dots\dots\dots (6-3-30)$$

再び, r^k をこの式の両辺に乗じると左辺はもとにもどり, 次のようになる。

$$\sum_{i=1}^N {}_k A_i \cdot {}_k X_i + A^k W^k \geq \frac{r^k}{r^k + \Delta r^k} D_k \quad \dots\dots\dots (6-3-31)$$

いま, 解の変化が起こらないような需要 D_k についての变化量を ΔD_k とすれば,

$$\frac{r^k}{r^k + \Delta r^k} D_k = D_k + \Delta D_k \quad \dots\dots\dots (6-3-32)$$

を満たす Δr^k の変化は解に影響を与えない。したがって, 次のようになる。

$$\Delta r^k = \frac{r^k D_k}{D_k + \Delta D_k} - r^k = - \frac{\Delta D_k}{D_k + \Delta D_k} r^k \quad \dots\dots\dots (6-3-33)$$

b) ⑥についての感度分析

式(6-3-26)において第 i_0 ゾーンの全利用可能面積が ΔA_{i_0} だけ変化して $(A_{i_0} + \Delta A_{i_0})$ になったとする。このとき式(6-3-26)は次のようになる。

$$\sum_{i=1}^N r^k A_{i \cdot k} X_i + r^k \Delta A_{i_0 \cdot k} X_{i_0} + r^k A W^k \geq D_k \quad \dots\dots\dots (6-3-34)$$

$$\therefore \sum_{i=1}^N k A_{i \cdot k} X_i + A^k W^k \geq D_k - r^k \Delta A_{i_0 \cdot k} X_{i_0} \quad \dots\dots\dots (6-3-35)$$

いま、解の変化が起こらないような需要 D_k の変化量を ΔD_k とすると、

$$D_k + \Delta D_k = D_k - r^k \Delta A_{i_0 \cdot k} X_{i_0} \quad \dots\dots\dots (6-3-36)$$

を満たすような第 i_0 ゾーンの全利用可能面積の変化 ΔA_{i_0} は確に影響を与えない。すなわち、次のようになる。

$$\Delta A_{i_0} = - \frac{\Delta D_k}{r^k X_{i_0}} \quad \dots\dots\dots (6-3-37)$$

ここに、

${}_k X_{i_0}$: 第 i_0 ゾーン第 k 用途の最適解における混合率

以上の感度分析は線形計画法においてすべて可能である。

(4) 適用例と考察

本研究の適用例の対象は、〇国際空港東部地区である。この地域は、航空機の着陸進入路直下にあり航空機騒音の著しいほかに工場や高速道路などによる騒音や大気汚染などの公害も起こっている。一方、地理的には都心部への交通の便が良く、そのため戦後のスプロール地帯の典型的な発展をみせ、木質アパート・文化住宅などが密集し、現在、種々の公害とあいまって劣悪な住環境を形成している。

本研究は、上記対象地域に対して $200\text{m} \times 200\text{m}$ のゾーニングを利用した^{11), 12)} 計算に使用したメッシュ・データは、 $400\text{m} \times 400\text{m}$ のもので、これは $200\text{m} \times 200\text{m}$ のメッシュ・データをもとに加工して作成した。独立な環境評価項目としては、航空機騒音のみならず対象地域の代表的な属性の指標として自然条件から地形、地盤、交通条件から鉄道・道路の利便性、環境条件から道路騒音、大気汚染の計7項目を採用した。これらの環境評価項目を序数的に取り扱えるようにランクづけしたものを表6-3-1に示す。さらに、本研究での対象地域の各用途について設定した環境基準は表6-3-2のようである。ただし、表6-3-2で使用した環境基準は、中央政府や各地方公共団体からの規制法令や報告書^{13), 14)}を参考にした。また各用途の総容積率および費用に関しては表6-3-3~4のようであり、これらの諸数値は、各種調査資料^{12), 15), 16)}を参考にして得られた。

表 6-3-1 環境評価項目

ラ ン ク	自 然 条 件		交 通 条 件		環 境 条 件		
	地 形	地 盤	鉄 道	道 路	航空機騒音	道路騒音	大気汚染
1	山 地	上部軟弱 深層支持層	1200m以上	細 街 路	W-95以上	居住に不適	0.05ppm 以上
2	丘 陵	上部軟弱 浅い支持層	700～ 1200m	区 画 街 路	W-90～95	居住に適	0.05ppm 以下
3	扇状地	上部地耐力 深層支持層	300～ 700m	主 要 道 路 (両側 100m)	W-85～90		
4	平 地	上部地耐力 浅い支持層	300m以内	幹線道路沿道 (両側 260m)	W-80～85		
5	湿 地	深層支持層 堅い基盤		インターチェンジ周辺 (1km周辺)	W-80以下		

- (注) 1. 深層とは、N値50程度の上層支持層の深さが15m以上のものである。
 2. 鉄道は、最寄りの駅からの距離である。
 3. Wとは、等価騒音レベル(WECPNL)のことである。
 4. 道路騒音は、主要道路から100m以内で、60dB(A)以上の場所である。

表 6-3-2 環境基準

環境評価項目	住宅地	商業地	工業地	緑 地
地 形	2	2	4	1
地 盤	3	3	2	1
鉄 道	2	3	1	1
道 路	1	4	5	1
航空機騒音	4	3	2	2
道路騒音	2	1	1	1
大 気 汚 染	2	2	1	1

(注) 環境基準値は、各土地利用が最小水準を満足しなければならないことを示す。

表 6-3-3 総容積率

土 地 利 用	T-市
住 宅 地	41
商 業 地	95.1
工 業 地	26.1
緑 地 (スポーツ、レク レーション等)	100 %

以上のデータをもとに表6-3-5に示すように6通りのケースを考えて各ケースにおける最適解の費用を同一の表6-3-5に記載した。また、図6-3-6～8は、それぞれ対象地域の土地利用およびケース5による整備方式の土地利用を1例として示したものである。そして、各ケースの計算時間については表6-3-6に示すとおりである。

表 6-3-4 順応, 転換, 移転費用の単価

転換費用

費用 土地利用	解体・整地	移 送	建 築	買収・整地	ゾーン当たりの開発費用
	(万円/㎡)				(億円/メッシュ)
住 宅 地	0.8	0.8	8.0	0.0	153.6
商 業 地	0.8	1.0	10.0	0.0	188.8
工 業 地	0.8	0.7	7.0	0.0	136.0
緑 地	0.15	0.0	0.3	0.0	7.2

移転費用

費用 土地利用	解体・整地	移 送	建 築	買収・整地	ゾーン当たりの開発費用
	(万円/㎡)				(億円/メッシュ)
住 宅 地	0.8	0.8	8.0	8.0	281.6
商 業 地	0.8	1.0	10.0	8.0	316.8
工 業 地	0.8	0.7	7.0	8.0	264.0
緑 地	0.15	0.0	0.3	8.0	135.2

順応費用

環 境 評 価 項 目	(万円/㎡)	(億円/メッシュ)
地 盤	0.8	12.8
航 空 機 騒 音	1.0	16.0
道 路 騒 音	0.5	8.0

(他の用途への順応は不可能とする。)

表 6-3-5 最 適 解

(単位: 億円)

転換と移転のみのケース	混 合 利 用	空 港 あ り	ケ ー ス 1	6,954
転換・移転・順応 をもつケース	混 合 利 用	空 港 あ り	ケ ー ス 2	2,228
			ケ ー ス 3	2,785
		空 港 な し	ケ ー ス 4	1,827
	純 粋 利 用	空 港 あ り 空 港 な し	ケ ー ス 5 ケ ー ス 6	3,661 3,356

表6-3-6 計 算 時 間

ケース設定	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
変数の数	588	588	588	608	136	316
制約式	662	662	662	667	71	83
総CPU時間 (MS)	58,150	133,796	138,075	137,729	11,798	18,700
総CORE時間 (MS)	457,620	694,485	718,956	691,442	87,720	91,233

(注) ケース1～4は、LIPS-60C (線形計画法プログラム、富士通作成)を使用した。
 ケース5～6は、近似整数計画法を使用した。

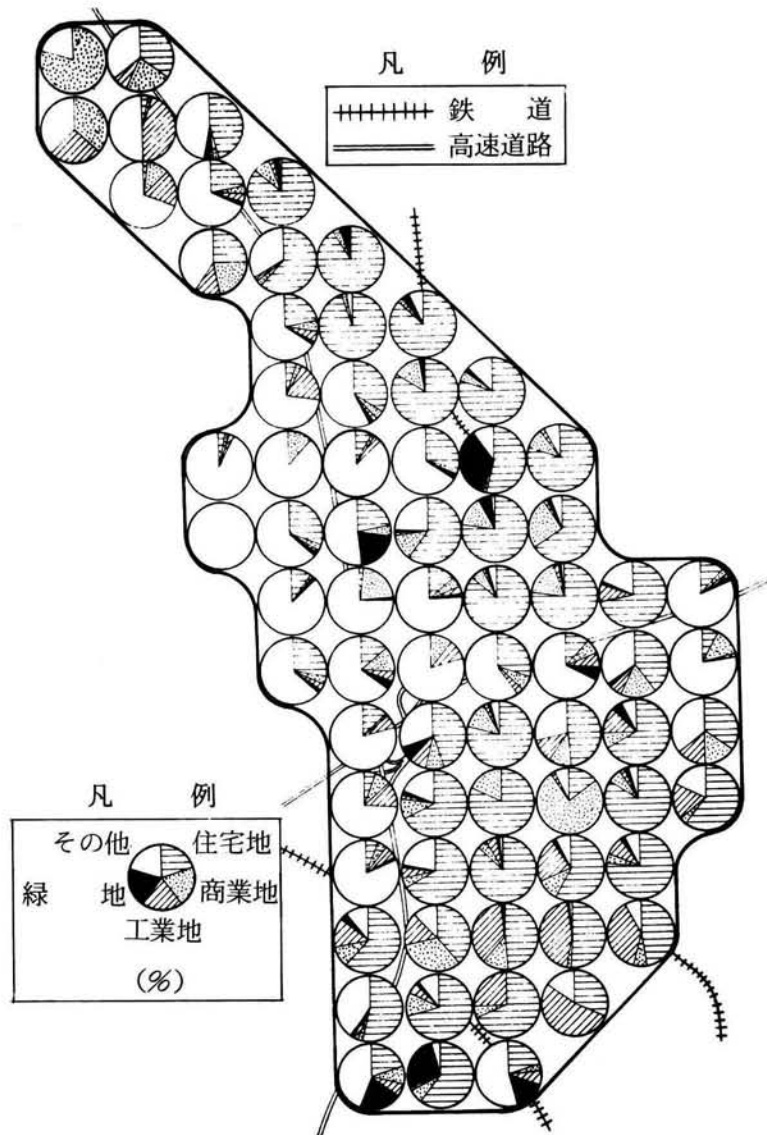


図6-3-6 現況土地利用

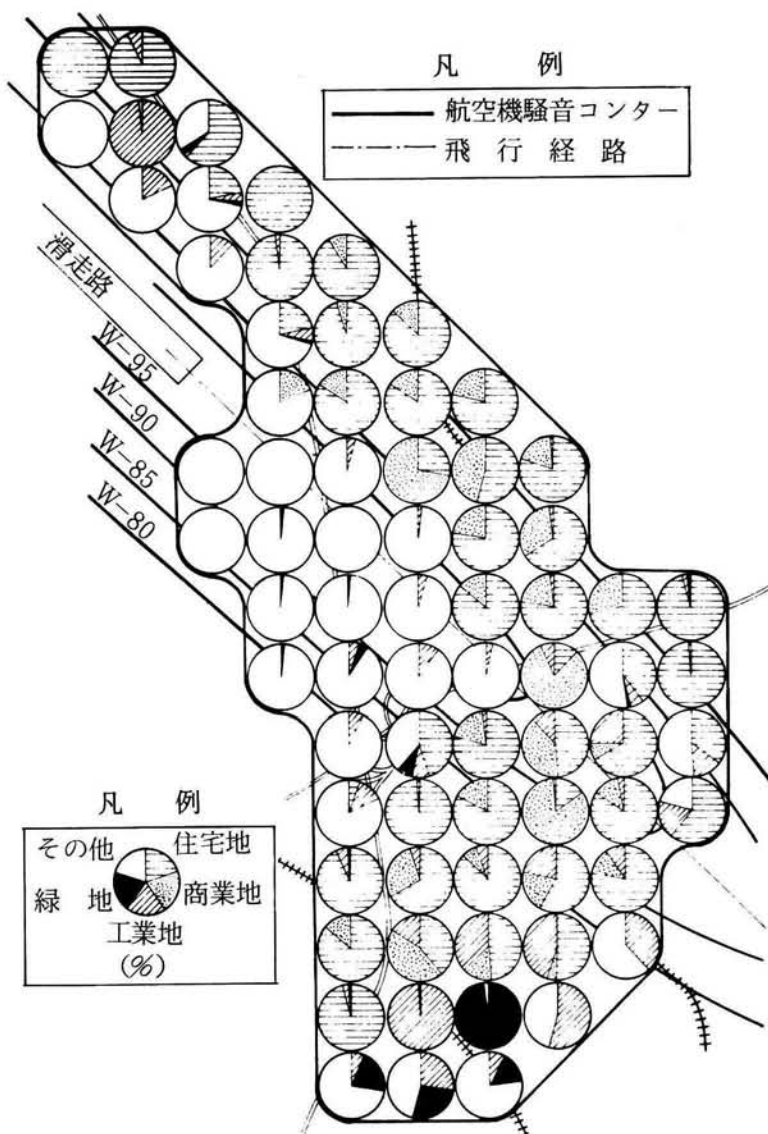


図 6-3-7 ケース 2 の最適土地利用

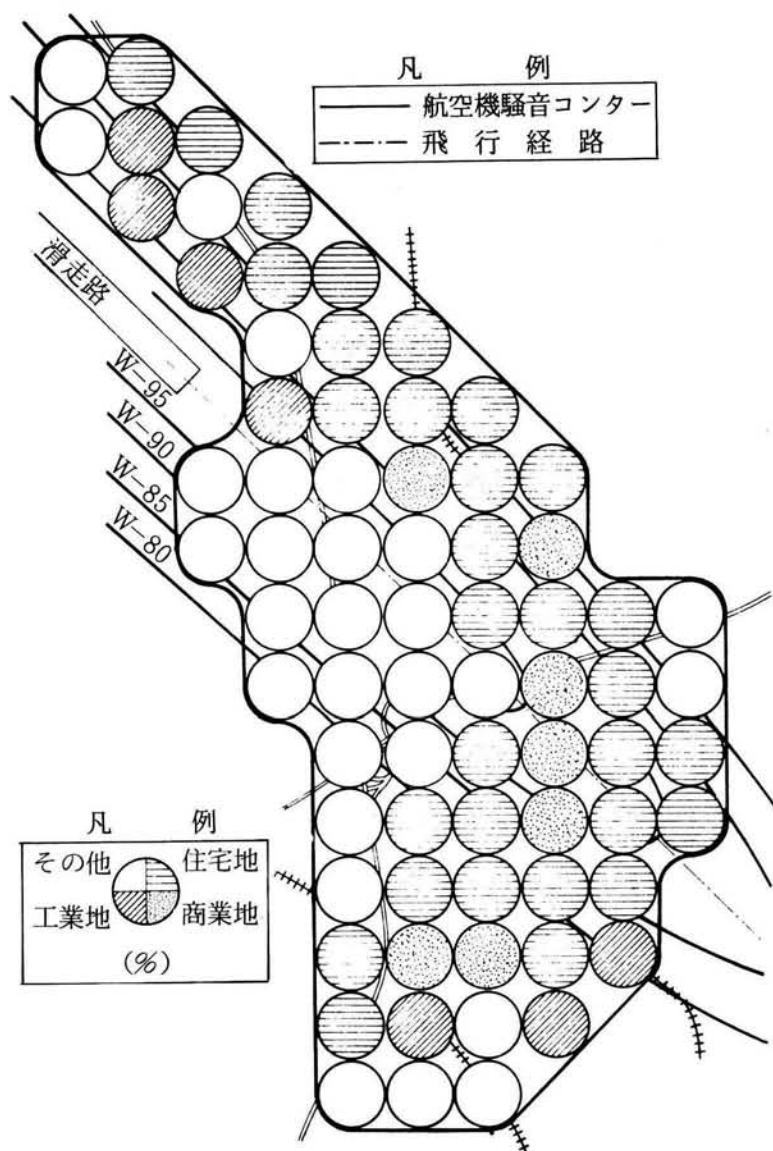


図 6-3-8 ケース 5 の最適土地利用

以上の結果より判明した点を要約すれば次のようである。

- ① 空港のある場合の整備費用は、空港のない場合の整備費用に比例して 1,000 億円程度高額である。
- ② 「改良」という手段を考慮しない整備方式は、「改良」という手段を考慮した整備方式より総費用は高くなる。これは、当該対象地域における移転代替地として選んだ周辺の地域の用地造成費が非常に高いことに起因している。
- ③ 総費用最小の観点からいえば、地域における土地利用整備の配置パターンは、各用途の配置の排他性をもって任意に決定される。これは、従来、公害などの土地利用整備の考え方が、防音工事や移転補償などの対象地区を各用途ごとに独立に指定してきたこととは、必ずしも一致しない。
- ④ 環境整備のための土地利用の配置パターンは、地域において各用途が集中化する傾向がある。これは、混合利用を許さないモデルについてより顕著に現われる。
- ⑤ 混合利用を許すモデルの総費用は、同じ条件では、混合利用を許さないモデルの総費用より低くなる。ただし、混合利用を許すモデルは、ゾーン内部の配置計画を残すからゾーン内部の配置計画に関する費用の潜在化が起こり、厳密には、混合利用を許さない場合との総費用の比較が困難である。

ここで、空港のある場合とない場合との対象地域の土地利用整備の総費用の差額をもって航空機騒音の社会的費用を定義するならば、本研究の成果によって発生者が責任をもつべき航空機騒音の社会的費用をオーダー的に把握することが可能となる。ただし、本研究では、環境基準は先見的に決まるものとして与件とした。環境基準そのものの決定法については、本研究の範囲を越えるので触れない。

(5) 周辺地域整備からみた分権的達成による調整の考察

ここでは上記した事例について周辺地域整備からみた分権的達成による調整について考察を行う。

表6-3-5は、交通施設プロジェクトをもつ周辺地域の整備に必要な費用を求めたものであった。さらに、この結果を用いて周辺地域整備を分権的達成の観点からみるために、次のように解釈を加えてみることにした。

空港がない場合は、当該地域が独力でより良い地域環境を形成する場合と考え、このときの地域整備に必要な費用であるとする。他方、空港がある場合は、当該地域に交通施設がもたらされ、かつ快適な地域環境を形成する場合と考え、このときの地域整備に必要な費用であるとする。したがって、両者の差額は、交通施設プロジェクトの提供主体が当該地域の整備に際して負担すべき費用であるといえよう。

このように考えると、交通施設プロジェクトが当該地域にもたらされる場合とそうでない場合との差額をもって交通施設提供主体が地域整備として負担すべき費用を算出すると、表6-3-7のようになる。ただし、この表においては、地域整備の方法は、改良、転換、移転の3種類の行為によって行われるのが実際であることから、以下の事例研究にはケース1を除くことにする。

なお、ケース2は、対象地域の環境基準で最も感度の大きいと思われる住宅地についての航空機騒音の水準を1だけ上げ、自然条件の地形を除いた場合である。

表6-3-7に示される交通施設提供主体が負担すべき地域整備費用を、交通施設のサービス・ライフが30年、社会的割引率を6%として毎年等価の費用に換算すれば、同じく表6-3-7に示されるようになる。

表6-3-7 交通施設提供主体の負担すべき地域整備費用

土 地 利 用	地域整備費用 負担金(億円)	毎年等価費用 (億円)	交通施設利用 者1人当たりの 負担金(円)	備 考
混 合 利 用	401	29	1,859	ケース2とケース4
	958	70	4,487	ケース3とケース4
純 粋 利 用	305	22	1,410	ケース5とケース6

いま、〇国際空港の国際線の昭和58年における乗客数は、約156万人であることを考慮して、受益者である利用者1人当たりの負担金を算定すれば、同じく表6-3-7に示されるとおりである。交通施設利用者1人当たりの負担金は、1,410～4,487円の範囲にある。

次に、当該地域が空港が立地せず独力で地域整備を行った場合について、同じく地域整備期間30年、社会的割引率を6%とした場合の毎年等価費用を、また住民1人当たりの負担金を算定すれば表6-3-8のようになる。なお、当該地域の昭和58年における人口は、約41万人である。

表6-3-8 当該地域独力による地域整備費用

土 地 利 用	地域整備費用 (億円)	毎年等価費用 (億円)	住民1人当たりの 負担金(円/年)
混 合 利 用	1,827	133	32,439
純 粋 利 用	3,356	244	59,512

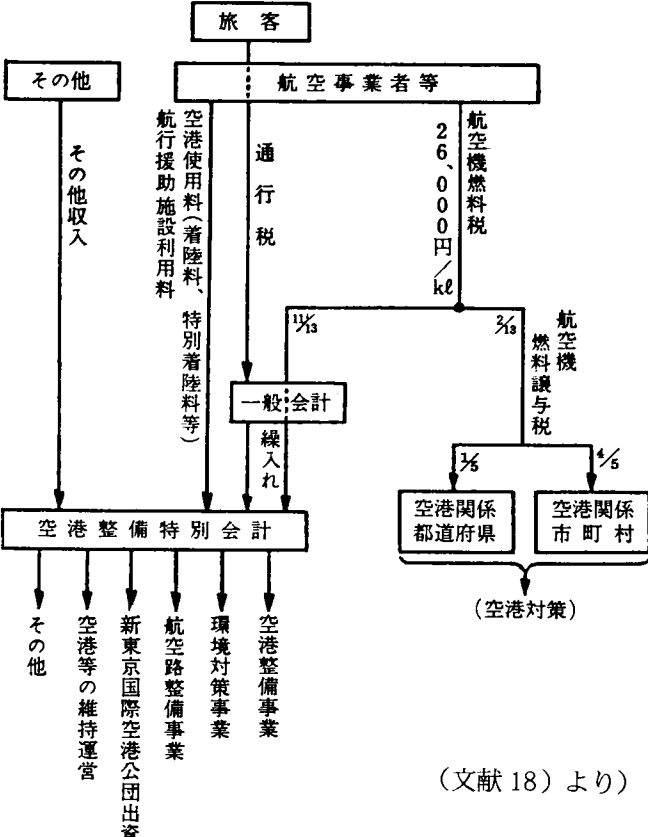
この場合、当該地域住民1人当たりの負担金は、混合利用の場合は年間約32,000円、純粋利用の場合は、年間約59,000円となる。

交通施設として空港を対象としているが、実際の空港整備特別会計の歳入源としては、図6-3-9に示すようになっている。そして、空港特別会計から環境対策事業に歳出されている。また、航空機燃料贈与税として空港関係自治体へ流れ、空港対策として歳出されている。

○国際空港の騒音対策費用の推移を示したものが、表6-3-9であり、昭和42年から昭和57年まで毎年増加の傾向にあったが、この2～3年は減少傾向にある。昭和58年における騒音対策費用は約523億円である。

これらの費用を空港がある場合の地域整備費用と比較するために、空港がある場合の毎年等価地域整備費用を算定すると、表6-3-10のようになる。ただし、これまでと同様空港のプロジェクト・ライフを30年、社会的割引率を6%とした。

この表より混合利用の場合は、162～202億円、純粋利用の場合は266億円となる。



（文献18）より

図6-3-9 空港整備特別会計のしくみ

表6-3-10 空港がある場合の地域整備費用

土 地 利 用	地 域 整 備 費 用 (億円)	毎 年 等 価 地 域 整 備 費 用 (億円)	備 考
混 合 利 用	2,228	162	ケース2
	2,785	202	ケース3
純 粋 利 用	3,661	266	ケース5

いずれの場合においても、現在の○国際空港の騒音対策費用は、ここで求めた地域整備費用を上回っていることから、これらの費用が地域整備に適正に使われているならば、○国際空港の周辺地域は、より短期間に良好な地域環境が形成されることになるだろう。

また、航空運賃負担能力の高い国際線旅客が享受する便益の一部を空港利用料として徴収

表 6-3-9 O国際空港の騒音対策費用の推移

(単位：百万円)

区分	年度	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59(案)	合 計
教育施設等 防音工事		240	415	749	1,155	2,014	2,675	3,629	4,283	4,187	4,197	4,978	5,538	5,243	5,791	6,589	7,009	6,659	3,824	69,175
民家防音工事								225	750	5,302	7,069	8,373	8,403	25,326	32,367	40,175	43,590	34,840	28,394	234,814
移転補償					292	755	2,438	2,751	3,112	7,346	10,482	10,859	12,742	9,097	11,568	11,684	9,262	8,715	7,949	109,052
緩衝緑地造成											108	371	131	116	394	223	364	734	779	3,220
空港周辺 整備機構								2,550	2,052	2,176	1,210	933	915	923	457	352	205	243	121	12,137
周辺環境整備 施設整備 事業費補助金													169	263	457	421	432	222	243	2,207
騒音監視 装置整備																	20	260	0	280
テレビ受信 障害対策																	620	620	620	5,274
合 計		240	415	749	1,447	2,769	5,163	9,257	10,307	19,292	23,448	25,892	28,312	41,431	51,648	60,064	61,502	52,293	41,930	436,159

(注) O国際空港にかかわる予算であるが、これはあくまで予算案作成上の算定の基礎となったものすぎない。各空港への配分は実施計画の承認を経たのちに確定することとなる。

し、これについても同様に空港周辺地域の良好な地域環境を整備する費用に充当することが考えられる。現在の新東京国際空港において国際線乗客に対して徴収されている旅客サービス施設利用料2,000円/人(大人)と混合利用の場合の1,859円/人および純粹利用の場合の1,410円/人と比較しても、本事例の結果による後者の試算値は高くないことがいえよう。むしろ逆に、交通施設プロジェクトを当該地域に誘致し、航空機燃料譲与税などを財源にして地域整備を行った方が得策であると考えられる。

6-4 結 語

本研究は、環境インパクトをもつプロジェクト周辺地域の整備計画の方法論とその適用を空港とその騒音の影響を受ける地域に行ってその実用性を論述した。しかし、方法論の提示を主体とした本研究の成果をそのまま、実際に適用することは、モデルの簡略化のために設けたいいくつかの前提が容認されない限り困難であることはいうまでもない。今回の研究の範囲で得られた結論を要約すれば、以下のようになる。

- ① 最適計画でなくても、環境水準のよい環境におかれることは事実であり、 I_2 、すなわち家計支出も公害が微少もしくは環境基準以上になることから少なくなることが考えられるので、説得の一つの方法論提示になる。
- ② ゾーニングの結果、得られる各ゾーン内において用途の混合利用を許す場合と許さない場合との両方について環境整備の土地利用計画モデルを策定し、その実用的解法を示した。
- ③ 混合利用を許す場合と許さない場合との両方の土地利用の計画論的相違を分析した。
- ④ 土地利用整備の計画に伴う費用を総費用とともにゾーン別用途別に算出し、計画の具体性に寄与した。
- ⑤ 「改良」を行うべき用途のゾーン別延べ床面積、「転換」を行うべき用途のゾーン別延べ床面積を算出し、計画の具体性に寄与した。
- ⑥ ゾーニングにおけるメッシュ・データの有効性を立証し、メッシュ・データの資料収集を強調した。
- ⑦ 従来、直感的な図形表現を用いて行われてきた土地利用の配置計画を数理計画法と大型電子計算機を用いて客観的に表現する基礎的手法を確立し、感度分析を可能にした。
- ⑧ 空港のある場合とない場合との比較を行い、航空機騒音の社会的費用のオーダー的把握を行えるようにした。
- ⑨ 費用、用途需要の感度分析に加えて、容積率、全利用可能面積(ゾーン当たりの)についての感度分析の手法を確立し、混合利用を許す場合について分析結果を示した。

- ⑩ プロジェクトの実施による社会全体の利得の公正な配分には、評価主体間の効用の授受が必要だが、効用の具体的表現が難しい現段階では、貨幣タームを用いた分権的達成による調整法が有効であると提案した。
- ⑪ 分権的達成による調整法は、プロジェクトが時間的・空間的に変化する環境インパクトをもつ場合の不確実性の処理の一方法であることを提案した。
- ⑫ 地域整備に際しては、交通施設プロジェクトにもたらされる財源を有効に活用することにより、地域の負担なしに良好な地域環境の整備が可能となる。むしろ、交通施設プロジェクトを誘致して、これを好機として地域整備を行っていくことが得策であることもあり、この場合、総合的な土地利用計画を樹てて、実施することが必要であるという結論を得た。

本研究を続ける上で、今後、ぜひとも解決されねばならない課題を整理すると次のようである。

- ① 本研究では6-3-4モデルの定式化で示したように、道路・鉄道などの都市施設は与件としている。また、それらは公害の発生要因として取り扱われることもある。したがって、今後はこれらも操作変数とするようなゾーン相互間の隣接効果や相互作用効果を同時に考慮したモデルの開発に努める。
- ② 公共施設の配置パターンと各用途がどこに立地すべきかという土地利用の問題を同時に決定するモデルの開発に努める。
- ③ 線形計画法や整数計画法の大型処理に対する効果的な手法を開発する。
- ④ 対象地域に対してグロス量で取り扱った容積率を地域内の地区的最適値としてとらえる手法を開発する。
- ⑤ 静学的本モデルから地域改良による地域生態構造の変化を動学的に拡張する。
- ⑥ 文化財などの移転に伴う非計量要素の評価を行う。
- ⑦ 取り入れるべき、環境評価項目ならびに評価指標選択の手法を確立する。
- ⑧ 総費用最小という評価基準は定量化が容易であるが、これを効用の最大となる評価基準に拡張する。
- ⑨ 資料不備のために公正な配分による分権的達成による調整法を十分に考察することができなかったが、今後、資料の整備と理論的体系化に努めるとともに、より精緻な実証を行う。

なお、本章の計算は、京都大学大型計算機センターのFACOM230-75を使用した。

第 6 章参考文献

- 1) McLoughlin, J. B. : Urban and Regional Planning, A System Approach, Praeger, 1969.
- 2) 長尾義三：プロジェクトの実施と公共投資計画の方向, 「社会資本整備の課題と方向」, 経済企画庁, pp. 115～120, 昭和49年3月.
- 3) 宮川公男編著：PPBSの原理と分析, 有斐閣, 昭和44年.
- 4) 経済審議会土地政策研究委員会編集：日本の土地問題, 社団法人経済企画協会, 昭和45年.
- 5) 長尾義三・森杉寿芳・佐藤信秋：工業開発地の選定とその規模決定法に関する研究, 土木学会論文報告集, 第212号, pp. 65～75, 1973年.
- 6) Ibaraki, T., T. Ohashi and H. Mine : Program Listing of a Heuristic Algorithm for Mixed Integer Programming Problems, Department of Applied Mathematics and Physics, Faculty of Engineering, Kyoto University, June, 1973.
- 7) Ibaraki, T., T. Ohashi and H. Mine : A Heuristic Algorithm for Mixed Integer Programming Problems, Department of Applied Mathematics and Physics, Faculty of Engineering, Kyoto University, May, 1973.
- 8) Land, A. H. and A. G. Doig : An Automatic Method of Solving Discrete Programming Problems, Econometrica, Vol. 28, pp. 497～520, 1960.
- 9) Benders, J. F. : Partitioning Procedures for Solving Mixed-variables Programming Problems, Numerische Mathematik, Vol. 4, pp. 238～252, 1962.
- 10) FACOM 230-60, LIPS 60C 解説書, 富士通, 昭和47年4月.
- 11) 建設省住宅局：空港公害地における地区整備に関する考察, 1973年3月.
- 12) 同上, 資料編.
- 13) 中央公害対策審議会騒音振動部会特殊騒音専門委員会：航空機騒音に係る環境基準について(報告), 昭和48年4月.
- 14) 豊中市：豊中市の地域計画とその問題点, その20, 昭和46年.
- 15) 阪口 理：地形・地質・地盤条件の住宅建設費におよぼす影響, 第5回土質工学研究発表会講演集, pp. 353～356, 昭和45年6月.
- 16) 豊中市：土地利用に関する現況調査, 昭和44年度.
- 17) 長尾義三・森杉寿芳・山田孝嗣：外部不経済を考慮したターミナル立地選定とその分権的達成, 土木学会論文報告集, 第255号, pp. 93～102, 1976年11月.
- 18) 運輸省航空局監修：数字でみる航空1985, 航空振興財団, 昭和60年3月.

- 19) 長尾義三・若井郁次郎・林恒一郎：環境インパクトをもつプロジェクト周辺地域の整備計画手法，土木学会論文報告集，第243号，pp. 61～70，1975年11月。
- 20) 若井郁次郎：公害地における地域再整備計画手法とそれに必要な環境のモデル化，第2回環境問題シンポジウム講演集，pp. 21～26，昭和49年8月。
- 21) 若井郁次郎・森杉寿芳：空港周辺整備計画の数理計画的アプローチ，環境創造，第5巻，11号，pp. 25～31，昭和50年11月。
- 22) 若井郁次郎・森杉寿芳・本城勇介：環境整備計画のための数理計画手法とその適用，第3回環境問題シンポジウム講演集，pp. 51～56，昭和50年8月。
- 23) Nagao, Y. and I. Wakai : Study on Problems of Terminal Site Location, the Memoirs of the Faculty of Engineering, Kyoto University, Vol. XXXIX, Part 4, pp. 548～565, 1977.
- 24) Nagao, Y. and I. Wakai : Current Research Direction in Problems of terminal Site Location, Proceedings of the First KINKI IRDP Workshop, pp. 169～195, 1978.

第7章 結 論

公共の福祉の向上を目指す土木事業が、社会に受け入れられるためには、事前の計画策定段階において、複合社会に弾力的に対応できる多目的・多属性評価問題としての認識と、この問題を総合評価できる評価システムの確立とが必要とされる。さらに、今日の土木事業は、自然、社会、経済および環境との相互関連性があることから、多くの要因に基づく不確実性が混入するため、不確実性を適切に処理できる評価システムの確立が必要とされている。本論文は、このような問題意識から出発して、不確実性下の土木計画代替案の総合評価と意思決定について研究を展開してきた。以下において、各章で得られたおもな成果を要約する。

第2章では、従来の評価問題や意思決定理論における不確実性の取り扱いについて文献調査を通じて整理を行い、土木計画代替案の総合評価システムの構成要素における不確実性の特徴と本研究で展開する不確実性について明らかにした。まず、土木計画代替案の総合評価は、計画に関係する複数の評価者の評価が大きな影響力をもつことが特徴的であり、また、この場合、土木計画代替案の総合評価と意思決定のプロセスは、ゲーム的状况として認識できることを明らかにした。第2に、土木計画代替案の優劣を決める評価項目のうち、福祉効果の評価項目の不確実性の処理は、代替案の作成や重みの適切な処理による方法が考えられることを明らかにした。第3に、評価項目の評価や重みなどのように主観的判断により決められるものであっても、不確実性の観点を変えれば、新たな展開が可能となることを明らかにした。第4に、土木計画代替案の選択を確率化することにより意思決定が従来の方法に比べ、柔軟になることを明らかにした。第5に、評価者の不確実なグループ形成が行われても土木計画代替案の総合評価は可能であり、また、グループ間の効用値の調整により不満の解消が可能であることを明らかにした。最後に、効用値の授受に代る方法として貨幣タームに基づいた分権的達成による調整法により実用性が高められることが明らかになった。

第3章では、従来の土木計画に欠如していた福祉効果を考慮するとともに、福祉効果の評価項目の不確実性を考慮した土木計画代替案の総合評価について検討した。第2節では、経済諸量の相互依存に基づいた経済効果に加えて、社会指標を考慮した総合評価の必要性を整理し、福祉効果を取り入れた波及効果表に基づく土木計画代替案の作成法を示した。第3節では、前節で提案した福祉効果を考慮した総合評価法を道路新線建設計画へ適用し、単数の意思決定者の主観に委ねられがちな福祉指標の不確実性と重みの不確実性の処理には重み順位法を用い、その有用性を明らかにした。また、福祉指標の重みの組合せを変化させ、優位な代替案の探索を行い、意思決定者が最適な土木計画代替案を選定するため有用な情報の絞り

込みが行えることになった。さらに、社会的費用を考慮した場合とそうでない場合における福祉指標の変化を検討し、社会的費用を考慮しないと適切な土木計画代替案の総合評価と選定が行えないおそれがあることを明らかにした。全体として、経済効果のみならず福祉効果を考慮することにより土木計画代替案に対して説得性を増した厚味のある総合評価が可能となった。

第4章では、土木計画代替案の総合評価に際して、総合評価値の大きい代替案を提案しようとする計画主体とその総合評価値を小さくしようと行動する評価主体との間のゲーム的行動に着目して、これを零和2人ゲーム問題として認識し、検討を行った。第2節では、まず、土木施設計画の問題点の認識について整理し、多目的・多属性評価問題としての位置づけの必要性および土木計画代替案の総合評価時の不確実性を明らかにした。また、従来の土木施設計画における総合評価の研究を前述の問題点の認識と対応させながら比較し、総合評価における重みは、従来のように先決するよりも、素直に、未知として取り扱う研究を発展させる必要があることを明らかにした。第3節では、展開する方法論の前提条件を整理し、計画主体と評価主体との行動原理をもとに、新たにLFW基準による総合評価を定義した。そして、LFW法の手順と定式化、および混合方略と次善解としての純粋方略の方法を示した。第4節では、水資源計画と湾岸道路計画の2種類の事例に対し、LFW法を適用し、本方法の実用性と有効性を確認した。また、LFW法は、評価者による土木施設計画代替案の評価が事前に分からない場合、計画主体の意思決定のための1つの計画情報になることを明らかにした。さらに、最も不確実な計画評価要素である重みを与件とする方法よりも、不確実なものとした方法から計画実施に必要な情報が多く得られることが分かった。

第5章では、土木計画代替案が価値観の異なるグループにより評価されるが、提示される土木計画代替案の評価が必ずしもグループ間で一致せず、グループ間で対立することから、この対立を解消させる方策に重点を置きながら、土木計画代替案の選定プロセスを検討した。第2節では、従来の研究にみられる問題点の整理を通じて土木計画代替案の選定に「寛容の原理」や「仁」の概念が不足していることから、土木計画代替案の選定に「仁」の概念を導入することが有効かつ重要であることを明らかにした。また、土木施設計画代替案の評価に際して、代替案の全面的否定だけでなく、その代替案の実施が、より良い結果をもたらす場合や賛成しかねるが他の代替案の実施による効用に加えて、他の効用の分配を受ける保証があれば、他の代替案の実施に協力する場合が実際にあるために、このような計画の背景を考慮した方法論の前提条件を明らかにした。そして、評価主体が有利な結果に導くために形成する統一行動グループを提携と定義した。さらに、問題を非零和 n 人ゲームとして定式化を行った。この場合、グループの最低保証水準は、ある提携とこれに敵対する提携との力関係によって規定される原理として多人数パワーの原理の導入を提案した。第3節では、提携集

合のうち最大の不満をもつ提携の不満を最小化する計画、すなわち、寛容の精神に基づく仁による計画と多人数パワーの原理とを融合させた協力 n 人ゲームによる代替案選定法を提案した。この場合、選定される代替案がもたらす社会の利得が現状を上回るという制約条件のもとで最大不満を最小化する代替案選定の問題を、まず定式化した。続いて、パレート最適性と個人的合理性の条件のもとに最小の剰余しか得られない計画主体の配分を大きくするように定式化した。そして、公正を達成するための補償の定量化と補償に基づく合意形成について提案した。第4節では道路計画を事例として本研究で提案した方法の適用を行い、有効性と実用性を確認した。また、公共福祉の向上を希求するのが土木事業であるが、その実施によって社会を構成する多様な価値観をもつすべての人々の満足を得ることは、一般に困難である。このような場合に本研究で提案した代替案選定プロセスを適用すれば、有効であることが明らかになった。

第6章では、交通施設プロジェクト周辺地域をある環境水準以上に保つため人間行動の取りうべき代替案のなかから探索し、総合評価を行って満足水準を達成する方法論について検討した。さらに、時間的、空間的に不確実な環境インパクトに起因する利益、不利益を受ける利害関係者の調整方法として分権的達成による調整法を取り扱った。第2節では、第4章、第5章で土木計画代替案の総合評価の表現として用いた効用値の授受が、現段階では可能でないことから、交通施設プロジェクトの実施による評価者間の効用格差の是正には、身替り施設や代替施設の提供そして補償が实际的であることを明らかにした。また、評価者間の効用格差を調整するために、交通施設プロジェクトに係わる評価主体のほかに、調整機関を設置することにより効果的、かつ効率的な調整システム、すなわち分権的達成による調整法が確立できることが分かった。さらに、身替り施設や代替施設の提供または補償を実現可能にするために、交通施設プロジェクトに係わる評価者に発生する便益および費用に基づく貨幣タームの授受による調整が、問題解決の1つの有効な方法であることを明らかにした。第3節では、交通施設プロジェクトをもつ周辺地域の地域整備を事例として本研究を考察した。まず、地域の人間・社会の取りうる行動として順応、転換、移転の3種類を定義し、これらの行動様式に基づいた地域の取りうべき最適行動を明らかにした。そして、この最適行動を土地利用形態で表現し、土地利用に混合利用を許す場合と許さない場合とに分け、しかも交通施設プロジェクトがある場合とない場合とについて最適な地域整備を明らかにした。また、研究事例に分権的達成の考察を行い、交通施設利用者の便益に基づいた地域整備費用や地域が負担すべき地域整備費用、および実際に実施されている地域環境整備費用などを明らかにした。その結果、交通施設プロジェクトをもつ周辺地域整備の最適解があるにもかかわらず、実際には、そのような計画が行われていないことが分かった。また、現在支出されている地

域環境整備費用の範囲内で、良好な地域環境を形成することが可能であることを明らかにした。そのために、事前に周辺地域についての総合的土地利用計画をもつことが必要であることが分かった。

以上、本研究では計画評価プロセスにおける不確実性を考慮して、土木計画代替案の総合評価と意思決定の方法論について検討を行い、総合評価や意思決定の状況に応じて零和2人ゲーム、協力 n 人ゲームなどを基本としたモデルを作成した。また、各章で提案したモデルについて事例研究を行い、特徴、実用性、有効性について明らかとなるように努めた。本研究で提案した手法は、計画情報の不確実性下における意思決定者に対して有用となる計画情報を与えると考ええる。しかしながら、本研究では効用値の不確実性、補償と効用配分の量的関係、評価主体間での相対的な重みなどについては触れることができず、今後の課題とした。今後は、モデルの精緻化とともに、より広い不確実性に対処できる一般的な総合評価システムの方法論の確立を目指して、なお一層の研究を進めることが重要であると考ええる。

謝

辞

本研究遂行ならびに本論文作成にあたって終始熱心に御指導，御鞭撻を賜わった京都大学工学部交通土木工学科・長尾義三教授に心から深甚なる感謝の意を表する。また，本研究の遂行に関して御指導，御助言を賜わった京都大学工学部交通土木工学科・黒田勝彦助教授，および岐阜大学工学部建設工学科・森杉寿芳教授に深く感謝する。さらに，総合評価の研究会において御助言を賜わった京都大学工学部交通土木工学科・天野光三教授，および不確実性の面から総合評価について御討議，御助言を賜わった名古屋大学工学部土木・地盤工学科・浅岡顕助教授に心から感謝の意を表する。

本論文作成の過程で常に励まして下さった京都大学工学部衛生工学科・住友恒教授に厚く御礼を申し上げる。

本研究の討議や計算の遂行にあたり御協力と御助力をいただいた林恒一郎（現運輸省勤務），菅原章文（現株式会社 三菱総合研究所勤務），西田哲郎（現日本国有鉄道勤務），高橋浩二（現運輸省勤務）の各氏に感謝の意を表する。最後に御協力をいただいた長尾研究室の多くの皆様に御礼を申し上げ，謝辞とする。